



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**NORBERTO MORO**

**INSPEÇÃO VEICULAR: Análise de Emissão de Gases e Poluentes  
em Veículos Leves Movidos a Gás Natural na Grande Florianópolis**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Florianópolis  
2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Norberto Moro

**INSPEÇÃO VEICULAR: Análise de Emissão de Gases e Poluentes  
em Veículos Leves Movidos a Gás Natural na Grande Florianópolis**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Título de Mestre em Infraestrutura e Gerência Viária.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Lenise Grando Goldner

Área de Concentração: Infraestrutura e Gerência Viária.

Linha de Pesquisa: Gerência Viária.

Florianópolis  
2013

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.**

Moro, Norberto

Inspeção veicular : Análise de emissão de gases e poluentes em veículos leves movidos a gás natural na Grande Florianópolis / Norberto Moro ; orientadora, Lenise Grando Goldner - Florianópolis, SC, 2013.

237 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Poluição veicular. 3. Inspeção veicular. 4. Gás natural veicular GNV. I. Goldner, Lenise Grando. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

**Norberto Moro**

**INSPEÇÃO VEICULAR: Análise de Emissão de Gases e Poluentes  
em Veículos Leves Movidos a Gás Natural na Grande Florianópolis**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

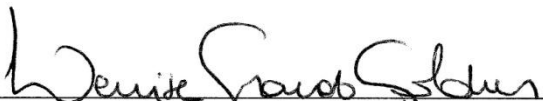
Florianópolis, 22 de agosto de 2013.



---

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Dr.  
Coordenador do Curso

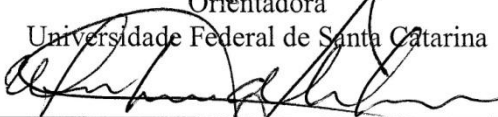
**Banca Examinadora:**



---

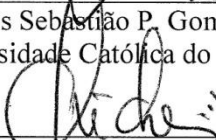
Profª Drª Lenise Grando Goldner  
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



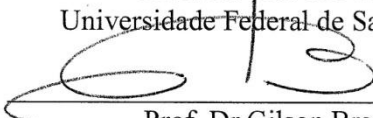
---

Prof. Marcos Sebastião P. Gomes, PhD.  
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro



---

Prof. Dr. Glicério Triches  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Prof. Dr. Gilson Braviano  
Universidade Federal de Santa Catarina



A minha esposa Priscila por ter  
permanecido ao meu lado, sempre  
me incentivando a percorrer esta  
longa caminhada e também por  
compartilhar as angústias e  
dúvidas, estendendo sempre a sua  
mão amorosa nos momentos mais  
difíceis, meu muito obrigado de  
coração.





## **AGRADECIMENTOS**

A JESUS, pela vida e a possibilidade de empreender esse caminho evolutivo do conhecimento, por propiciar tantas oportunidades de estudo e por colocar em meu caminho pessoas amigas e generosas com o saber científico e espiritual disponível.

À MINHA FAMÍLIA, a grande mama Délcia que me apoiou nos estudos desde sempre, à minha esposa Priscila incondicional companheira e a compreensão dos filhos Fabricio, Gabriel e o pequeno Lucas.

À MINHA ORIENTADORA, Prof<sup>ra</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lenise Grando Goldner um agradecimento carinhoso e especial por todos os momentos de paciência, compreensão, estímulo e competência.

Aos colegas e professores do IFSC pelo cotidiano incentivo e em especial aos colegas da Manutenção Automotiva, em especial os Prof. Drs. Marcelo Vandresen e Milton Pereira no apoio final nas questões técnicas sobre motores veiculares.

Ao mecânico especialista e empresário Sr. Antonio Adelar Batista de Souza pelas preciosas dicas sobre os problemas práticos nas instalações dos kits GNV nos veículos convertidos para tal.

Aos responsáveis pelas quatro Instituições Técnicas Licenciadas da Grande Florianópolis que propiciaram a coleta de uma grande quantidade de dados das inspeções veiculares dos veículos GNV, demonstrando uma postura profissional e de confiança plena durante estes três anos de pesquisa.

Aos colegas de pós-graduação que compartilharam comigo esses momentos de aprendizado. Foi muito legal e gratificante a experiência. Valeu a pena.

Enfim, a todos aqueles que de uma maneira ou de outra contribuíram para que este percurso pudesse ser concluído.



Talvez não tenha conseguido fazer  
o melhor, mas lutei para que o  
melhor fosse feito. Não sou o que  
deveria ser, mas Graças a Deus,  
não sou o que era antes.

(Martin Luther King)



## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo contribuir para a melhoria do sistema GNV brasileiro, por meio da análise crítica dos resultados das inspeções de gases e poluentes dos veículos convertidos a GNV realizadas nas Instituições Técnicas Licenciadas da Grande Florianópolis entre 2010 e 2011. O GNV tem se apresentado como alternativa aos combustíveis fósseis líquidos representados especialmente pela gasolina (poluidora, finita e de preços instáveis atrelados ao mercado externo), contribuindo para a diversificação da atual matriz energética brasileira. Foram pesquisadas as concentrações dos poluentes  $\text{CO}_c$  (Monóxido de Carbono corrigido) e  $\text{HC}_c$  (Hidrocarbonetos corrigido) em veículos convertidos para uso do combustível GNV, comparando-as com os limites estabelecidos pelo PROCONVE e correlacionando-as com as características veiculares tais como o ano de fabricação, a marca e o tipo de combustível de origem. Os dados foram obtidos a partir dos 17.578 relatórios de análise dos gases de escapamento dos veículos convertidos ao GNV em Oficinas Registradas pelo INMETRO, dados representativos das inspeções iniciais e periódicas anuais realizadas em 4 ITL – Instituições Técnicas Licenciadas pelo DENATRAN, situadas na Grande Florianópolis/SC, entre os anos 2010 e 2011. Foram definidas oito variáveis atreladas aos dois poluentes críticos ( $\text{HC}_c$  e  $\text{CO}_c$ ), o tipo de combustível inspecionado e as rotações do motor usadas nos ensaios de gases e poluentes segundo os limites da Resolução nº 418/09 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente e os requisitos técnicos para regulamentação dos procedimentos para a avaliação veicular segundo a Instrução Normativa nº 06/10 do IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Na verificação da consistência e tipo de distribuição dos dados da amostra foram utilizados métodos e ferramentas estatísticas, assim como para testar hipóteses levantadas pelo estudo. Para se conseguir respostas adequadas aos objetivos específicos determinados no início desta pesquisa, foi elaborado um conjunto de 10 hipóteses e utilizados testes estatísticos (não paramétricos) através do software aplicativo SPSS, hipóteses estas confirmadas em sua maioria por meio da inferência estatística. Os resultados obtidos mostram que a menor poluição dos veículos convertidos ao GNV está diretamente vinculada à compatibilidade tecnológica entre *kit* GNV e o veículo a ser convertido. Sendo assim, é fundamental que o INMETRO, através de seus

regulamentos técnicos da qualidade, exija nas instalações em oficinas registradas somente *kits* GNV com o certificado CAGN emitido pelo IBAMA, conforme determina a Resolução nº 291/01 do CONAMA e esta mesma exigência deve ser feita pelas ITL em suas inspeções periódicas realizadas anualmente. Por fim, recomenda-se que, para prevenir a adulteração destes tipos de *kits* GNV, seus componentes venham de fábrica com lacres de inviolabilidade mecânica e eletrônica a fim de evitar a troca por outros componentes mais baratos e não garantidores da redução de poluentes.

**Palavras-chave:** Poluição Veicular. Inspeção Veicular. Gás Natural Veicular GNV.

## ABSTRACT

This work aims to contribute to the improvement of Brazilian GNV system, through a critical analysis of the results of inspections of gases and pollutants from vehicles converted to GNV inspected by Licensed Technical Institutions (ITL) of Florianópolis between 2010 and 2011. The GNV has emerged as an alternative to liquid fossil fuels represented especially by gasoline (polluting, finite and of unstable prices), contributing to the diversification of the current Brazilian energy matrix. Concentrations of pollutants  $\text{CO}_c$  (Carbon Monoxide corrected) and  $\text{HC}_c$  (Hydrocarbons corrected) were surveyed in vehicles converted for using the fuel GNV, comparing them with the limits established by PROCONVE and correlating them with the vehicle characteristics such as the year of manufacture, brand and original fuel. Data were obtained from the 17,578 analysis reports of the exhaust gases of vehicles converted to GNV in auto repair shops registered by INMETRO, which represent the initial and annual periodical inspections conducted in 4 ITL situated at Grande Florianópolis/SC, between the years 2010 and 2011. Eight variables were defined linked to the two critical pollutants, the fuel type and the acceleration engine settings used in gases and pollutants tests, according Resolution nº 418/09 of CONAMA – National Environment Council. The technical requirements for the regulation of the procedures for the vehicle evaluation were in accordance to the Normative Instruction nº 06/10 do IBAMA – Brazilian Institute of Environment and Natural Renewable Resources.

To verify the consistence and type of distribution the sample data, as well as to test the hypothesis raised by the study, methods and statistics tools were used. To achieve adequate answers to the specific objectives posed by this research, a set of 10 hypotheses was elaborated and statistical tests (not parametric) through the software application SPSS were used. Most of the hypotheses were confirmed through inference statistical. The results show that lower pollution vehicles converted to GNV is directly linked to technological compatibility between GNV kit and the vehicle to be converted. Therefore, it is essential that the INMETRO, through technical regulations of quality (ITL), requires in vehicle inspections the certificate CAGN issued by IBAMA, as the Resolution nº 291/01 of CONAMA determines. The same requirement should be done by ITL in its periodical inspections. Finally, it is recommended that, to prevent adulteration of GNV kits, the components

should come from the factory with mechanic and electronic tamper-proof seals in order to avoid exchange for other cheaper components that do not guarantee the reduction of pollutants.

**Keywords:** Vehicular Pollution. Vehicular Inspection. Natural Gas Vehicular GNV



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Rotas alternativas para a redução de emissão de poluentes no modo rodoviário.....	40
Figura 2.2 - Evolução da frota de veículos leves convertidos a GNV (unidades).....	41
Figura 2.3 - Poluentes primários e secundários.....	44
Figura 2.4 - Contribuição dos Gases do Efeito Estufa para o Aquecimento Global.....	47
Figura 2.5 - Representação esquemática da reação de combustão.....	51
Figura 2.6 - Relação do HC com o fator $\lambda$ .....	54
Figura 2.7 - Relação do CO com o fator $\lambda$ .....	55
Figura 2.8 - Relação do CO <sub>2</sub> com o fator $\lambda$ .....	56
Figura 2.9 - Relação do O <sub>2</sub> com o fator $\lambda$ .....	57
Figura 2.10 - Pontos de Emissão de Poluentes do Ar em Veículo Automotor.....	62
Figura 2.11 - Motor de Combustão Interna com Sistemas de Controle de Emissões.....	66
Figura 2.12 - Funcionamento da válvula EGR para recirculação dos gases de escape.....	70
Figura 2.13 - Funcionamento da injeção de ar secundário no coletor de escape.....	71
Figura 2.14 - Dispositivos eletrônicos e mecânicos de controle da poluição veicular.....	73
Figura 2.15 - Círculo Virtuoso do Crescimento do Mercado de GNV no Brasil.....	82
Figura 2.16 - Adaptação de veículos para GNV.....	86
Figura 2.17 - Esquema de adaptação de veículo para uso de GNV.....	90
Figura 2.18 - Resultados das vistorias nos veículos GNV.....	100
Figura 2.19 - Ensaio de dinamômetro de chassi para medição de poluentes.....	104
Figura 2.20 - Obtenção de emissões veiculares através de sensoriamento remoto.....	106
Figura 2.21 - LIDAR.....	108
Figura 2.22 - Limites de emissão para veículos leves, para cada fase do PROCONVE.....	121
Figura 3.1- Analisador de Gases TM 132, da Tecnomotor.....	140
Figura 3.2 - Tela Inicial do Programa IGOR.....	142
Figura 3.3 - Tela Inicial do Teste de Emissão dos Gases.....	143
Figura 3.4 - Sonda de Escapeamento TM 107 Acoplada ao Veículo....	144

Figura 3.5 - Tela do IGOR na Fase de Descontaminação do Veículo.....	145
Figura 3.6 - Sequência de Medições dos Poluentes.....	146
Figura 3.7 - Tela do Programa IGOR - Relatório para Veículo APROVADO.....	147
Figura 3.8 - Tela do Programa IGOR - Relatório para Veículo REPROVADO.....	148
Figura 4.1 - Fluxograma das Etapas da Pesquisa.....	156
Figura 4.2 - Histogramas das Oito Variáveis, com Curva Normal Associada.....	161
Figura 5.1 - Distribuição do total de inspeções realizadas na Grande Florianópolis, em função da ITL.....	168
Figura 5.2 - Distribuição do total de veículos inspecionados em função do ano de fabricação.....	169
Figura 5.3 - Distribuição do total de veículos inspecionados em função do tipo de combustível.....	169
Figura 5.4 - Distribuição do total de veículos inspecionados em função do fabricante.....	170
Figura 5.5 - Comparação entre as amostras de “todos os veículos” e “veículos reprovados”, para a distribuição do total de veículos inspecionados em função do ano de fabricação.....	171
Figura 5.6 - Comparação entre as amostras de “todos os veículos” e “veículos reprovados”, para a distribuição do total de veículos inspecionados em função do combustível principal utilizado.....	172
Figura 5.7 - Comparação entre as amostras de “todos os veículos” e “veículos reprovados”, para a distribuição do total de veículos inspecionados em função da marca.....	173
Figura 5.8 - Percentual de aprovação/reprovação dos veículos na emissão de HC <sub>c</sub> em marcha lenta (combustível principal versus GNV).....	173
Figura 5.9 - Percentual de aprovação/reprovação dos veículos na emissão de HC <sub>c</sub> em marcha acelerada (combustível principal versus GNV).....	174
Figura 5.10 - Percentual de aprovação/reprovação dos veículos na emissão de CO <sub>c</sub> em marcha lenta (combustível principal versus GNV).....	174
Figura 5.11 - Percentual de aprovação/reprovação dos veículos na emissão de CO <sub>c</sub> em marcha acelerada (combustível principal versus GNV).....	175
Figura 5.12 - Tela do Programa SPSS Statistic, com os números associados a cada marca em estudo.....	178

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Matriz de Transporte de Passageiros – Comparativo Internacional.....	38
Tabela 2.2 - Fontes, Características e Efeitos dos Principais Poluentes na Atmosfera.....	45
Tabela 2.3 - Emissões de CO <sub>2</sub> oriundas da Matriz Energética.....	49
Tabela 2.4 - Alíquotas de IPVA para Diferentes Combustíveis no RJ e SP.....	81
Tabela 2.5 - Emissão de Carros Convertidos a GNV.....	99
Tabela 2.6 - Resultado de Emissões da Kombi com Diversos Combustíveis.....	101
Tabela 2.7 - Resultado de Emissões da Quantum com Diversos Combustíveis.....	101
Tabela 2.8 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes, para cada Fase do PROCONVE.....	122
Tabela 3.1 - Limites de CO <sub>c</sub> em Marcha Lenta e Acelerada para Veículos Leves do Ciclo Otto.....	149
Tabela 3.2 - Limites de HC em Marcha Lenta para Veículos Leves do Ciclo Otto.....	149
Tabela 3.3 - Limites máximos de emissão de CO <sub>c</sub> em Marcha Lenta (ML) e a 2500 rpm para veículos automotores com motor ciclo Otto.....	150
Tabela 3.4 - Limites máximos de emissão de HC <sub>c</sub> para veículos com motor de ciclo Otto.....	150
Tabela 5.1 - Número de inspeções de análise de gases poluentes realizadas pelas ITL na Grande Florianópolis, em 2010 e 2011.....	167
Tabela 5.2 - Resultados das inspeções de análise de gases e poluentes realizadas pelas ITL na Grande Florianópolis, em 2010 e 2011.....	168
Tabela 5.3 – Resultado do Teste Estatístico de Mann-Whitney, para a Concentração de HC <sub>c</sub> , comparando veículos antigos e novos.....	176
Tabela 5.4 - Concentração média de HC <sub>c</sub> (ppm), para veículos antigos e novos.....	176
Tabela 5.5 - Resultado do Teste Estatístico de Mann-Whitney, para a Concentração de CO <sub>c</sub> , comparando veículos antigos e novos.....	177
Tabela 5.6 - Concentração média de CO <sub>c</sub> (% vol), para veículos antigos e novos.....	177
Tabela 5.7 - Resultado do Teste Estatístico de Kruskal-Wallis, para a Concentração de HC <sub>c</sub> , comparando as diferentes marcas de veículos.....	179
Tabela 5.8 - Resultado do Teste da Mediana comparando a concentração de HC <sub>c</sub> , comparando as diferentes marcas de veículos.....	180

Tabela 5.9 - Probabilidades de Significância obtidas com o teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação até 1991.....	180
Tabela 5.10 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996.....	180
Tabela 5.11 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004.....	181
Tabela 5.12 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008.....	181
Tabela 5.13 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011.....	181
Tabela 5.14 – Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação até 1991.....	182
Tabela 5.15 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996.....	182
Tabela 5.16 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004.....	182
Tabela 5.17 – Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008.....	183
Tabela 5.18 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011.....	183

Tabela 5.19 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação até 1991.....	183
Tabela 5.20 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996.....	184
Tabela 5.21 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004.....	184
Tabela 5.22 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008.....	184
Tabela 5.23 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011.....	185
Tabela 5.24 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação até 1991.....	185
Tabela 5.25 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996...	185
Tabela 5.26 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004...	186
Tabela 5.27 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008...	186
Tabela 5.28 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC <sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011...	186
Tabela 5.29 - Concentração Média de Emissão de HC <sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (HC <sub>c</sub> CP ML).....	187
Tabela 5.30 - Concentração Média de Emissão de HC <sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (HC <sub>c</sub> CP MA).....	187
Tabela 5.31 - Concentração Média de Emissão de HC <sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (HC <sub>c</sub> GNV ML).....	188
Tabela 5.32 - Concentração Média de Emissão de HC <sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (HC <sub>c</sub> GNV MA).....	188
Tabela 5.33 - Resultado do Teste Estatístico de Kruskal-Wallis, para a Concentração de CO <sub>c</sub> , comparando as diferentes marcas de veículos.....	189

Tabela 5.34 - Resultado do Teste da Mediana, para a Concentração de CO <sub>e</sub> , comparando as diferentes marcas de veículos.....	189
Tabela 5.35 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação até 1991.....	190
Tabela 5.36 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996.....	190
Tabela 5.37 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004.....	190
Tabela 5.38 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008.....	191
Tabela 5.39 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011.....	191
Tabela 5.40 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação até 1991.....	191
Tabela 5.41 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996.....	192
Tabela 5.42 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004.....	192
Tabela 5.43 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008.....	192

Tabela 5.44 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011.....	193
Tabela 5.45 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação até 1991.....	193
Tabela 5.46 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996.....	193
Tabela 5.47 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004.....	194
Tabela 5.48 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008.....	194
Tabela 5.49 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011.....	194
Tabela 5.50 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação até 1991.....	195
Tabela 5.51 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996.....	195
Tabela 5.52 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004.....	195
Tabela 5.53 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008.....	196
Tabela 5.54 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO <sub>e</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011.....	196

Tabela 5.55 - Concentração Média de Emissão de CO <sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (CO <sub>c</sub> CP ML).....	197
Tabela 5.56 - Concentração Média de Emissão de CO <sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (CO <sub>c</sub> CP MA).....	197
Tabela 5.57 - Concentração Média de Emissão de CO <sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (CO <sub>c</sub> GNV ML).....	197
Tabela 5.58 - Concentração Média de Emissão de CO <sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (CO <sub>c</sub> GNV MA).....	198
Tabela 5.59 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a concentração de HC <sub>c</sub> (ppm) no Combustível Principal vs GNV.....	199
Tabela 5.60 - Concentração Média de Emissão de HC <sub>c</sub> (ppm) para cada tipo de Combustível.....	199
Tabela 5.61 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a Concentração de CO <sub>c</sub> Combustível Principal vs GNV.....	200
Tabela 5.62 - Concentração Média de Emissão de CO <sub>c</sub> (% vol) para cada tipo de Combustível.....	201
Tabela 5.63 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a concentração de HC <sub>c</sub> Marcha Lenta versus Marcha Acelerada (combustível líquido).....	201
Tabela 5.64 - Concentração média de HC <sub>c</sub> (ppm) para o combustível principal.....	202
Tabela 5.65 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a concentração de HC <sub>c</sub> Marcha Lenta versus Marcha Acelerada (GNV).....	202
Tabela 5.66 - Concentração Média de HC <sub>c</sub> (ppm) para o GNV.....	203
Tabela 5.67 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a concentração de CO <sub>c</sub> Marcha Lenta versus Marcha Acelerada (Combustível Principal).....	203
Tabela 5.68 - Concentração Média de CO <sub>c</sub> (%vol) para o Combustível Principal.....	204
Tabela 5.69 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a Concentração de CO <sub>c</sub> Marcha Lenta versus Marcha Acelerada (GNV).....	204
Tabela 5.70 - Concentração Média de CO <sub>c</sub> (%vol) para o combustível GNV.....	205



## LISTA DE SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEAC	– Álcool Etílico Anidro Combustível
AEI	– Agência Internacional de Energia
AEHC	– Álcool Etílico Hidratado Combustível
ANFAVEA	– Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	– Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CAGN	– Certificado Ambiental para o Uso do Gás Natural
CH <sub>4</sub>	– Metano
CETESB	– Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFC	– Clorofluorcarbonos
CNE	– Comissão Nacional de Energia
CNP	– Conselho Nacional do Petróleo
COMETRO	– Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
CO	– Monóxido de Carbono
CO <sub>c</sub>	– Monóxido de Carbono corrigido
CO <sub>2</sub>	– Dióxido de Carbono
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONTRAN	– Conselho Nacional de Trânsito
COV	– Compostos Orgânicos Voláteis
DENATRAN	– Departamento Nacional de Trânsito
DETRAN	– Departamento Estadual de Trânsito
EPA	– Agência de Proteção Ambiental dos EUA
FE	– Fatores Médios de Emissão
FEEMA	– Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente
FTP 75	– Federal Test Procedure
GEE	– Gases de Efeito Estufa
GEIPOT	– Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes
GNC	– Gás Natural Comprimido
GNV	– Gás Natural Veicular
GNL	– Gás Natural Liquefeito
HC	– Hidrocarbonetos
HC <sub>c</sub>	– Hidrocarbonetos corrigido
INEA	– Instituto Estadual do Ambiente
I/M	– Programas de Inspeção e Manutenção de veículos em Uso
IANGV	– International Association For Natural Gas Vehicles

IBAMA	– Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICO <sub>2</sub>	– Índice de Dióxido de Carbono
IEA	– International Energy Agency
INEA	– Instituto Estadual do Ambiente
INMETRO	– Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPI	– Imposto Sobre Produto Industrializado
ITL	– Instituição Técnica Licenciada
LIMA	– Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente
MA	– Marcha Acelerada do motor
ML	– Marcha Lenta do Motor
MERCOSUL	– Mercado Comum do Sul
MCT	– Ministério da Ciência e tecnologia
MCI	– Motor de Combustão Interna
MMA	– Ministério do Meio Ambiente
NMHC	– Hidrocarbonetos Não Metanos
MP	– Material Particulado
NO <sub>x</sub>	– Óxidos de Nitrogênio
NO <sub>2</sub>	– Dióxido de Nitrogênio
O <sub>3</sub>	– Ozônio
O <sub>2</sub>	– Oxigênio
OIA-SV	– Organismo de Inspeção de Segurança Veicular Acreditado
OBD	– Sistemas de Auto Diagnose de Bordo
OCDE	– Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OCIA	– Organização Mundial da Indústria Automobilística
OMS	– Organização Mundial da Saúde
OS	– Ordem de Serviço
PAG	– Potencial de Aquecimento Global
PCPV	– Plano de Controle da Poluição Veicular
PLANGAS	– Plano Nacional do Gás Natural
PROÁLCOOL	– Programa Nacional do Alcool
PROCONVE	– Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PRONAR	– Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar
RHCO	– Aldeídos
SF <sub>6</sub>	– Hexafluoreto de Enxofre
SCE	– Sistema de Controle de Emissões
SR	– Sensoriamento Remoto

STI	– Secretaria de Tecnologia Industrial
SO <sub>2</sub>	– Dióxido de Enxofre
SO <sub>3</sub>	– Óxido Sulfúrico ou Trióxido de Enxofre ou Anidrido Sulfúrico
THC	– Total de Hidrocarbonetos contidos na amostra, inclusive o Metano
UGC	– Unidade de Gestão de Certificados
λ	– Fator Lambda



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>31</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	31
1.2 OBJETIVOS DESTA PESQUISA.....	33
<b>1.2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>33</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>33</b>
1.3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	33
1.4 ÁREA DE ESTUDO .....	35
1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	35
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>37</b>
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	37
2.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	42
2.3 POLUIÇÃO VEICULAR .....	48
<b>2.3.1 A Poluição de fontes móveis veiculares .....</b>	<b>48</b>
<b>2.3.2 A Combustão ideal em motores do ciclo Otto.....</b>	<b>50</b>
<b>2.3.3 Principais poluentes atmosféricos veiculares .....</b>	<b>58</b>
<b>2.3.4 Fontes das emissões de poluentes veiculares .....</b>	<b>61</b>
<b>2.3.5 Tecnologias automotivas para o controle da emissão veicular .....</b>	<b>64</b>
<b>2.3.6 Evolução da qualidade dos combustíveis .....</b>	<b>73</b>
<b>2.3.7 O gás natural veicular – GNV .....</b>	<b>77</b>
2.3.7.1 Histórico.....	77
2.3.7.2 Gás Natural no Cenário Mundial.....	82
2.3.7.3 Características Técnicas do GNV.....	83
2.3.7.4 Sistemas de Instalação para GNV .....	85
2.3.7.6 Situação Atual do GNV.....	97
2.4 MEDIÇÃO DAS EMISSÕES VEICULARES .....	102
<b>2.4.1 Testes em laboratórios .....</b>	<b>102</b>
<b>2.4.2 Medições em veículos a bordo ou instrumentados .....</b>	<b>104</b>
<b>2.4.3 Sensoriamento remoto .....</b>	<b>105</b>
2.5 CONTROLE DA POLUIÇÃO VEICULAR.....	108
<b>2.5.1 Redução das emissões veiculares.....</b>	<b>108</b>
<b>2.5.2 Experiência mundial no controle da poluição veicular .....</b>	<b>110</b>
<b>2.5.3 Experiência brasileira no controle da poluição veicular.....</b>	<b>111</b>
2.6 PROGRAMA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES – PROCONVE.....	114
<b>2.6.1 Aspectos técnicos do PROCONVE .....</b>	<b>115</b>
<b>2.6.2 As fases de implantação do PROCONVE .....</b>	<b>118</b>

2.7 PROGRAMAS DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE VEÍCULOS EM USO - I/M.....	124
2.7.1 Características gerais do I/M.....	124
2.7.2 A experiência brasileira em programas de I/M.....	127
2.8 ESTUDOS NO BRASIL SOBRE O TEMA.....	128
<b>3 PROCESSO DE ANÁLISE DAS EMISSÕES DE POLUENTES .....</b>	<b>133</b>
3.1 CENÁRIO DO GNV .....	133
3.2 LICENCIAMENTO DE VEÍCULOS A GNV .....	134
3.3 INSPEÇÃO DE VEÍCULOS A GNV.....	135
3.4 MEDIÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES.....	136
3.4.1 Principais gases e poluentes medidos nos ensaios .....	136
3.4.2 Gases e poluentes calculados nos ensaios .....	137
3.4.3 Equipamento analisador de gases.....	138
3.4.4 Ensaios realizados com o analisador de gases .....	141
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES SEGUNDO OS PADRÕES DO PROCONVE .....	148
3.6 REGULAMENTOS TÉCNICOS DO INMETRO.....	151
<b>4 MÉTODO DA PESQUISA.....</b>	<b>155</b>
4.1 FLUXOGRAMA DAS ETAPAS .....	155
4.2 COLETA DOS DADOS .....	157
4.3 MÉTODOS E FERRAMENTAS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	158
4.3.1 Verificação dos dados atípicos ( <i>outliers</i> ) .....	159
4.3.2 Testes estatísticos de aderência .....	160
4.3.3 Testes de hipóteses .....	163
4.4 COMPARAÇÃO DA AMOSTRA COMPLETA COM A AMOSTRA DOS VEÍCULOS REPROVADOS .....	165
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>167</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA .....	167
5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS REPROVADOS .....	170
5.3 RESULTADOS DAS HIPÓTESES.....	175
5.4 DIAGNÓSTICO DAS CAUSAS MECÂNICAS DOS RESULTADOS DAS HIPÓTESES FORMULADAS .....	205
5.4.1 Diagnóstico teórico básico das falhas nas emissões pesquisadas.....	205
5.4.1 Diagnose específica dos poluentes HC <sub>c</sub> e CO <sub>c</sub> para os veículos com GNV .....	206
5.4.3 Interpretação dos resultados das hipóteses para os veículos com GNV .....	207

<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>215</b>
6.1 CONCLUSÕES.....	215
6.2 RECOMENDAÇÕES .....	217
<b>6 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>223</b>
<b>ANEXO I: Relatório de Análise de Gases e Poluentes.....</b>	<b>233</b>
<b>ANEXO II: GNV – Inconvenientes, Causas e Soluções .....</b>	<b>235</b>





# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A humanidade, em sua construção transformadora de um mundo mais civilizado, procura fazer que a tecnologia ande de mãos dadas com os avanços sociais direcionados pelos homens de boa vontade. Entretanto, este desafio criador necessita de um ambiente propício para ser alcançado, ou seja, de se utilizar níveis de conforto adequados, os quais demandam diariamente enormes quantidades de energia em nível mundial.

Entre os confortos exigidos está o de se locomover urbanamente em meios de transportes cada vez mais rápidos, seguros e que não poluam o ambiente. É sabido que a solução racional envolvendo custo/qualidade consiste em utilizar transportes modais urbanos coletivos complementares, como metrô, trens e ônibus.

Para que um país se desenvolva integrado, tanto econômica como socialmente, é fundamental que o transporte de pessoas e mercadorias ocorra de uma maneira segura e com baixo custo, mas seja também ambientalmente sustentável, ou seja, orientado no sentido de minimizar o consumo predatório e a deterioração dos recursos naturais.

Infelizmente, no Brasil esta questão do transporte coletivo urbano racional está longe ainda de ser atendida, havendo poucas capitais que ofereçam este serviço a contento. A mobilidade urbana fica refém de se utilizar veículos leves individuais consumidores de combustíveis advindos do petróleo, causando assim, poluição ambiental e sonora, prejudiciais às pessoas a sua volta.

Há muitos anos, o modal rodoviário tem sido priorizado no Brasil, tanto para transporte de pessoas, onde representa 92,1% do total, quanto no transporte de carga, onde representa 57,5% do total (EPE, 2012).

No que tange aos combustíveis utilizados para alimentar o transporte no Brasil, o óleo diesel (48,9%) e a gasolina (28,1%) são os mais utilizados, seguidos do etanol (14,4%) e gás natural (2,3%) (EPE, 2012).

Os combustíveis fósseis mais utilizados nos transportes veiculares (óleo diesel e gasolina) são considerados poluidores e finitos. Cada vez mais, o mundo tem buscado alternativas mais sustentáveis, como os biocombustíveis e o gás natural.

O governo brasileiro incentivou, a partir de 1996, uma alternativa energética veicular chamada Gás Natural Veicular – GNV, combustível gasoso menos poluidor e mais barato em comparação aos combustíveis líquidos. Porém, a partir de 2007, as incertezas a respeito do fornecimento de gás da Bolívia, o aumento dos preços do gás natural no mercado doméstico, a expansão da frota de veículos bicombustíveis (gasolina + etanol) e a mídia negativa gerada em torno do uso do GNV reverteram a forte expansão neste mercado que vinha ocorrendo no Brasil desde 2000. Nesse contexto, as conversões anuais, que em 2007 atingiram 271 mil veículos, caíram para menos de 50 mil em 2010 (GASNET, 2012).

A utilização do gás natural veicular, tanto em veículos leves quanto em veículos pesados, apresenta uma série de benefícios quando comparado à gasolina e ao diesel, e até mesmo quando comparado com os combustíveis renováveis, como o etanol e o biodiesel. Entre as vantagens podem-se destacar a diversificação da matriz de combustíveis, a geração de emprego, a redução dos impactos ambientais e a redistribuição social da renda (COLOMER, 2012).

No que diz respeito à diversificação da matriz de combustível, o crescimento da frota de veículos verificada nos últimos anos, o sucateamento da indústria sucroalcooleira, o esgotamento da capacidade de refino e o desalinhamento dos preços dos diferentes energéticos explicam o atual desequilíbrio entre demanda e oferta de combustível no país o que tem tido efeitos diretos nas contas externas brasileiras (COLOMER, 2012).

Diante de um cenário de crescente oferta de gás natural (estima-se que só nas bacias de Campos, Santos e Espírito Santo, a oferta líquida de gás natural possa atingir 190 milhões de metros cúbicos por dia em 2026), a expansão da frota de veículos a GNV pode contribuir para dar maior flexibilidade e segurança à política de abastecimento do país (COLOMER, 2012).

Em relação à geração de emprego e renda, verifica-se que a indústria de gás natural veicular é composta por inúmeras atividades industriais e comerciais auxiliares formadas em sua maioria por empresas de pequeno porte (COLOMER, 2012).

## 1.2 OBJETIVOS DESTA PESQUISA

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho visa contribuir para a melhoria do sistema GNV brasileiro, por meio da análise dos resultados das inspeções de gases e poluentes dos veículos leves convertidos a GNV realizadas nas Instituições Técnicas Licenciadas (ITL) da Grande Florianópolis entre os anos 2010 e 2011.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma análise crítica dos dados de inspeções de gases e poluentes realizadas nos veículos leves convertidos para uso do combustível gasoso GNV, nas quatro ITL da Grande Florianópolis, entre os anos de 2010 e 2011;
- Comparar percentuais de aprovação/reprovação em função da marca do veículo, ano de fabricação e combustível original;
- Identificar os poluentes mais responsáveis pela reprovação dos veículos a GNV/Álcool e GNV/Gasolina;
- Verificar a existência de concentração de poluentes principais nas diferentes marcas de veículos inspecionados;
- Verificar a concentração dos poluentes principais nos combustíveis líquido e gasoso em veículos mais antigos (até 1996) e mais novos (a partir de 1997);
- Verificar a concentração dos poluentes principais em marcha lenta e acelerada do motor, tanto no combustível líquido como no gasoso, durante os testes de inspeção;
- Fortalecer a importância do trabalho das inspeções veiculares das ITL como estruturas importantes no combate aos veículos leves modificados poluidores, realçando o reposicionamento urgente do GNV como combustível veicular estratégico para que toda a sociedade possa se apropriar das suas vantagens econômicas, sociais e ambientais.

## 1.3 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TEMA

Os veículos convertidos para o gás natural no Brasil são obrigados submeter-se anualmente, a partir da data da instalação do *kit* GNV, a uma inspeção de segurança veicular realizada por uma ITL,

verificando não só a instalação dos componentes do *kit* GNV, mas toda a estrutura veicular como freios, suspensão, sistemas de iluminação e após um ensaio de análise de gases e poluentes emitidos pelo escapamento do veículo verificando *in loco* se estas emissões estão dentro dos limites permitidos pela Resolução nº 418/09 do CONAMA. Esta inspeção anual contribui para a segurança dos veículos convertidos e um maior controle da qualidade do ar.

Segundo o *site* do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO existem no Brasil 462 oficinas instaladoras registradas para conversão de veículos para GNV. Além das empresas convertedoras, existem 386 Organismos de Inspeção de Segurança Veicular Acreditado (OIA-SV), também chamado de Instituições Técnicas Licenciadas – ITL, homologadas também pelo Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN, assim como inúmeros outros negócios que compõem o sistema de gás natural veicular, que são formados por pequenas empresas. Nesse sentido, a expansão do mercado de GNV possui um importante potencial de geração de emprego, redistribuição de renda e arrecadação fiscal.

Sob o ponto de vista do consumidor, a opção pelo GNV é interessante porque o preço do quilômetro (km) rodado com o uso do gás natural como combustível é mais barato do que a gasolina e o etanol. Para os preços atuais (fevereiro de 2013), tanto a gasolina quanto o etanol custam o dobro do GNV. Com tamanha competitividade, o GNV é uma alternativa viável mesmo quando se considera o custo do *kit* de adaptação, cujo preço médio é de cerca de R\$ 4.000,00. Para um consumidor que rode cerca de 5.000 km mensais, o *payback* do *kit* se dará em cerca de seis meses (PIRES 2013).

Além das questões econômicas, o uso do gás natural, majoritariamente composto de metano (CH<sub>4</sub>), como combustível automotor gera menores emissões de CO<sub>2</sub>, particulados, óxidos nitrosos e enxofre, principalmente quando comparado ao diesel e à gasolina (PIRES 2013).

Por fim, este trabalho pretende discutir a importância da utilização do combustível gás natural veicular (GNV) como alternativa para a diversificação da matriz energética veicular dos combustíveis, como alternativa à gasolina poluidora, finita e com preço de importação vinculado ao mercado externo instável.

## 1.4 ÁREA DE ESTUDO

Serão analisados neste trabalho os bancos de dados de quatro ITL, três localizadas em Florianópolis e uma em São José, homologadas pelo DENATRAN e credenciadas pelo INMETRO. Tais empresas tem entre suas principais atividades realizar as inspeções anuais de segurança e de emissão de poluentes nos veículos leves convertidos a GNV.

Durante os anos de 2010 e 2011, 18.678 veículos convertidos para GNV passaram pelas ITL da Grande Florianópolis para inspeção anual obrigatória.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está organizado em seis capítulos, os quais são apresentados a seguir.

No Capítulo 2, é exibida a fundamentação teórica da dissertação, que aborda os temas de poluição atmosférica, e mais especificamente a poluição veicular; o GNV, com suas características, vantagens e desvantagens; a medição da poluição veicular; as experiências brasileiras e no exterior de controle dessa poluição. Por fim, detalha o PROCONVE e apresenta resumidamente as características gerais dos Programas de I/M.

No Capítulo 3 é apresentado o cenário brasileiro do GNV e o processo operacional de medição e análise da poluição veicular como é realizada em todo o Brasil pelas ITL, segundo Instrução Normativa 06/10 do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). É abordado também o processo de inspeção anual de veículos a GNV, os equipamentos e métodos utilizados e a comparação com os padrões de emissão de poluentes definidos pelo PROCONVE.

O Capítulo 4, trata da coleta, organização e tratamento dos dados pesquisados sobre os veículos GNV inspecionados nas ITL da Grande Florianópolis, referentes aos anos 2010 e 2011, as oito variáveis escolhidas em função dos poluentes principais HC<sub>c</sub> e o CO<sub>c</sub> bem como os métodos e ferramentas de análises estatísticas utilizadas para a verificação da procedência dos dados e com o testes de confirmação ou não das 10 hipóteses levantadas.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados da análise dos dados coletados no trabalho, iniciando pela caracterização da amostra,

em seguida a comparação da amostra completa com a amostra parcial dos veículos reprovados, e por fim a apresentação dos resultados dos testes estatísticos das hipóteses e suas respectivas análises técnicas.

Finalmente, no Capítulo 6 são expostas as conclusões e recomendações deste trabalho e, em seguida, são apresentadas as referências e anexos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

No mundo moderno atual, a maior parte do deslocamento de pessoas e cargas é realizada através de veículos automotores, que necessitam de infraestrutura e de energia. Esta energia movimentadora de máquinas já vem desde a revolução industrial. O carvão era o único combustível, no século XIX, a movimentar trens e navios a vapor. No século XX, os combustíveis derivados do petróleo, a destacar a gasolina e o óleo diesel, são os mais utilizados em veículos dos principais modos de transportes.

A globalização exige uma demanda crescente por transportes. No Brasil, o transporte rodoviário é dominante desde a metade do século XX, muito acima da média mundial e discrepantes em relação aos países com dimensão continental como Brasil.

De acordo com Andrade e Mattei (2011), no que se refere ao transporte de passageiros, sua distribuição percentual por modal é apresentada na Tabela 2.1. Assim como no caso do transporte de cargas, também é possível constatar uma elevada predominância do modal rodoviário (96% de total). Percebe-se também a pequena participação do transporte por ferrovias, que poderia servir com um meio alternativo para o transporte de massa, o que atualmente ocorre apenas precariamente nos Estados do Rio de Janeiro e de São Paulo.

Comparando a situação do transporte de passageiros com alguns números internacionais é possível perceber que o Brasil ultrapassa inclusive países como os EUA, de forte cultura rodoviária e que não deveria ser tomado como um modelo a ser seguido quando se busca reduzir o impacto do sistema de transporte sobre o meio ambiente.

Quando se compara o Brasil com a Rússia e a China a discrepância da distribuição brasileira se torna mais clara, uma vez que naqueles dois países asiáticos ocorre uma forte utilização do transporte ferroviário como forma de deslocar seus passageiros, além de também contar com uma parcela considerável de deslocamentos pelo modal aéreo.

Tabela 2.1 - Matriz de Transporte de Passageiros – Comparativo Internacional

	Brasil (2005)	EUA (2007)	China (2007)	Rússia (2008)	União Européia (2008)
Rodoviário	96,18%	87,8%	54,1%	26,2%	82,7%
Ferrovário	1,37%	0,7%	33,3%	47,8%	7,8%
Aquaviário	0,00%	0,0%	0,3%	0,2%	0,6%
Aeroviário	2,45%	11,5%	12,3%	25,8%	8,8%

Fonte: European Commission (2010) e GEIPOT (2010) apud Andrade e Mattei (2011).

Segundo um levantamento realizado pela Agência Internacional de Energia – AIE (2012), a frota mundial de veículos chegará a 1,7 bilhão de unidades em 2035. Atualmente, este número já supera a marca de um bilhão de automóveis.

Um dos fatores que têm contribuído para esse aumento é a demanda do mercado chinês, que vem crescendo vertiginosamente nos últimos anos. Até 2035, a frota da China, que hoje é de 60 milhões de unidades, será formada por 400 milhões de veículos. Os chineses corresponderão com quase um quarto do total de automóveis no mundo. Já os indianos passarão dos atuais 14 milhões para 160 milhões de carros até então.

Para ilustrar o crescimento da quantidade de veículos no mundo atualmente, o estudo da AIE mostra que, no começo dos anos 2000, existiam quatro carros para cada grupo de mil pessoas. Em 2010, este número saltou para 40 veículos a cada mil habitantes. Em 2035, o mesmo grupo de pessoas terá 310 automóveis. Do total, apenas 4% serão elétricos, enquanto os híbridos serão 20% do montante. Os modelos movidos a gás natural corresponderão por 3% da frota.

Ainda segundo a agência, o crescimento do número de carros nas ruas fez a emissão de poluentes aumentar em 50% no período de 1991 a 2011. Embora os automóveis atuais estejam cada vez mais eficientes em termos de consumo de combustível e emissões de gases, a evolução técnica será considerada insuficiente no futuro devido o grande número de veículos rodando pelas ruas e estradas, onde se estima ainda que até 2035 serão gastos cerca de US\$ 20 trilhões (cerca de R\$41,3 trilhões) na construção de vias para comportar o contingente de automóveis.

No Brasil, segundo o site do DENATRAN (2013), a frota total de veículos no Brasil atual é de aproximadamente mais de 79 milhões, sendo 44 milhões de automóveis, ou seja, um para cada cinco brasileiros. O número de veículos em circulação no País cresce em ritmo muito superior ao da população. Várias cidades apresentam índices



similares aos de países desenvolvidos, como Alemanha e Estados Unidos, onde a média é de menos de dois habitantes por veículo.

Com este panorama mundial preocupante de consumo veicular de combustíveis, está em destaque a questão das mudanças climáticas advindas da emissão de gases poluentes. Novas estratégias energéticas estão sendo pesquisadas, vinculadas ou não às reservas de petróleo.

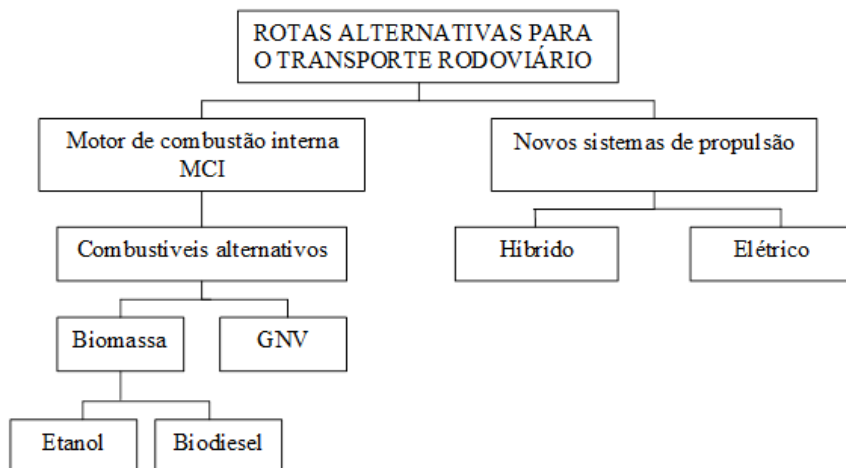
Segundo Ribeiro (2002), há muita dificuldade para se introduzir alternativas energéticas no setor transporte. Inovar significa, na maior parte das vezes, concorrer com as forças políticas e o poder econômico das indústrias de petróleo e automobilística.

Entretanto, em meados dos anos 70, esta demanda desenfreada por combustíveis fósseis foi seriamente afetada devido às crises do petróleo e também pelos efeitos da poluição gerada pelas emissões veiculares, principalmente nos grandes centros urbanos.

No sentido de depender cada vez menos dos combustíveis fósseis tradicionais (gasolina e o diesel), os países ocidentais, a partir da década de 80, têm evoluído suas pesquisas no sentido de se criar um maior equilíbrio das suas respectivas matrizes energéticas a fim de minimizar a dependência do petróleo, embora o setor de transportes rodoviários possua uma particularidade ainda muito rígida em depender quase que totalmente de combustíveis derivados do petróleo. Este esforço de busca de novas alternativas energéticas também é influenciado pela preocupação global em se alcançar um desenvolvimento econômico sustentável.

As alternativas energéticas são encontradas em diferentes etapas de introdução no mercado mundial. Viabilizar a inserção dessas alternativas, mediante o estabelecimento de políticas que favoreçam o transporte sustentável, é um dever para os governantes de todas as nações, sejam estas desenvolvidas ou não. A Figura 2.1 mostra duas rotas alternativas para a redução de emissões de poluentes atmosféricos no modo rodoviário, a utilização de combustíveis alternativos e novas tecnologias para propulsão.

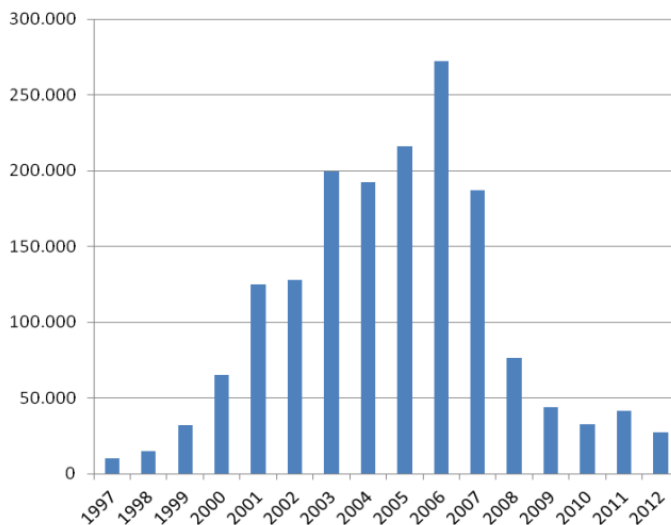
Figura 2.1 - Rotas alternativas para a redução de emissão de poluentes no modo rodoviário



Fonte: Adaptado de RIBEIRO, 2002

No Brasil, que privilegia o transporte rodoviário, os veículos automotores têm tido uma participação ativa no crescimento acelerado desta poluição. Nos meios de transporte os derivados de petróleo, como a gasolina e o óleo diesel continuam sendo os energéticos predominantes, apesar de que no Brasil observa-se o amplo uso do etanol, tanto como combustível exclusivo quanto misturado aos derivados de petróleo, como a gasolina. Houve também no início do século XXI uma expansão no uso do GNV (Figura 2.2), principalmente em veículos leves de uso intensivo comercial: táxis e frotas cativas (COLOMER, 2013).

Figura 2.2 - Evolução da frota de veículos leves convertidos a GNV (unidades)



Fonte: Moraes e Losekann (2013).

Na Figura 2.2, observa-se um pico em 2005/2006 e em seguida a queda. Os números das conversões vêm diminuindo ano após ano desde então. Se em 2007 houve um pico de 272 mil veículos convertidos, em 2012 este número caiu para 24 mil. Assim, o volume de gás consumido pelo segmento veicular, reduziu-se de um pico de 7 milhões de metros cúbicos por dia ( $\text{MMm}^3/\text{d}$ ), em dezembro de 2007, para cerca de 5,5  $\text{MMm}^3/\text{d}$ , em dezembro de 2012, sendo que atualmente, o mercado de GNV representa 11% do volume de gás natural comercializado no Brasil e apenas 2% do consumo de energia nos transportes, conforme Pires (2013).

A queda no interesse pelo gás natural como combustível para veículos automotivos acontece justamente quando o consumo dos demais combustíveis, como a gasolina e o diesel, apresentam elevadas taxas de crescimento que, por sua vez, não encontram correspondência na ampliação da oferta nacional. O resultado foi o crescimento de 73% na importação de gasolina. A capacidade de processamento do parque de refino brasileiro já está sendo plenamente utilizada há algum tempo, enquanto o setor de etanol, que deveria funcionar como alternativa ao consumo da gasolina, vive uma profunda crise (PIRES, 2013).

Ainda segundo Pires (2013), mesmo sem incentivos, a frota movida a gás natural veicular tem tido papel importante para atenuar a deterioração da balança comercial de derivados. De acordo com dados da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado - ABEGÁS, em 2012, caso a frota movida a GNV utilizasse a gasolina como combustível, teria sido necessária a importação de cerca de US\$ 2,4 bilhões a mais de gasolina, que se somariam aos US\$ 3,05 bilhões registrados naquele ano, ou seja, um aumento de 78% nas importações.

## 2.2 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

A decomposição de matéria orgânica, as erupções vulcânicas e as queimadas são alguns exemplos de fontes poluidoras que já faziam parte do cotidiano ambiental da antiguidade.

Através dos séculos têm existido várias referências de problemas de poluição atmosférica nas cidades. Em 61 d.C. o filósofo romano Sêneca escreveu sobre a poluição em Roma: “Logo que deixei o pesado ar de Roma e o mau cheiro das chaminés esfumaçadas, que se misturando escoavam adiante aquele vapor pestilento e a fuligem que envolvia-nos, eu sentia uma alteração na minha disposição” (MILLER, 1989 apud LOUREIRO, 2005).

Pelo menos até a Revolução Industrial, os detritos eram essencialmente orgânicos e, portanto, suscetíveis à decomposição; inesperadamente, a indústria espalhou sobre o planeta produtos mais resistentes. Sua persistência torna o seu impacto muito mais profundo sobre o homem e o meio ambiente (MORENO, 1997 apud LEMOS, 2010).

A partir da Revolução Industrial, que começou na Inglaterra no meio do século XVIII, a poluição do ar aumentou tremendamente. O combustível mais importante nesta revolução era o carvão, e no século XIX, o petróleo e o gás natural tornaram-se gradualmente importantes fontes de energia (MILLER, 1989, MOREIRA, 2004, MOSLEY, 2001 apud LOUREIRO, 2005).

No Reino Unido, a fumaça e as cinzas eram consideradas um problema para a saúde e decretos de saúde pública em 1848, 1866 e 1875 passaram a estabelecer controles (MILLER, 1989 apud LOUREIRO, 2005).

Em 1911, houve registro de mil e cinquenta mortes em Londres causadas pela fumaça produzida na queima de carvão. A palavra *smog*, (composição de *smoke* - fumaça, e *fog* - neblina) foi proposta pelo Dr.

Harold Des Vouex. Atualmente, a palavra *smog* é usada para designar episódios críticos de poluição do ar (BRAGA et al., 2002 apud LEMOS, 2010).

Em torno de 1925, a poluição atmosférica tinha se tornado universal em todas as nações industrializadas e havia um reconhecimento de que a situação era intolerável. Como primeiro passo na direção de encontrar uma solução, levantamentos de larga escala foram feitos em cidades poluídas – Salt Lake em 1926, New York em 1937 nos Estados Unidos; e em Leicester em 1939, na Inglaterra. Devido à difusão da poluição por veículos automotores, na costa sul dos EUA, as pesquisas sobre poluição atmosférica centralizaram-se no Estado da Califórnia (ARB, 2004; MILLER, 1989; MOREIRA, 2004 apud LOUREIRO, 2005).

Na década de 1970, os maiores centros de poluição atmosférica tinham se estabelecido nos Estados Unidos, Grã-Bretanha, França, Alemanha, Países Baixos, Suécia e Japão (MILLER, 1989 apud LOUREIRO, 2005).

No Brasil, década de 1950, durante uma semana foram registrados 150 casos de doenças respiratórias aguda e 9 óbitos provocados pela emissão na atmosfera de pó de mamona, por uma indústria de extração de óleos vegetais. Suspensas as atividades da fábrica, cessaram as doenças (LISBOA, 2007).

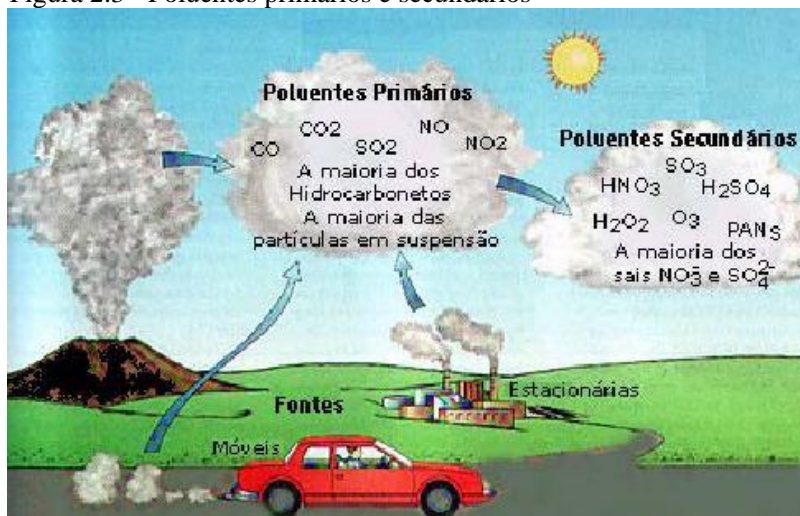
A Resolução nº 03 do CONAMA, de 28 de junho de 1990, definiu padrões de qualidade do ar, previsto no Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar – PRONAR, que define como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- Impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- Inconveniente ao bem estar público;
- Danoso aos materiais, à fauna e à flora;
- Prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Segundo o site da CETESB (2012), o nível de poluição atmosférica é medida pela quantidade de substâncias presentes no ar. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação. Para facilitar esta classificação, os poluentes são divididos em duas categorias, conforme a Figura 2.3:

- **Poluentes Primários:** aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão, isto é, estão presentes na atmosfera na forma em que são emitidos como resultado de algum processo, como por exemplo, o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) onde se incluem os hidrocarbonetos (HC), os aldeídos, as cetonas, etc. (LISBOA, 2007).
- **Poluentes Secundários:** são aqueles formados na atmosfera como produtos de alguma reação. Um poluente que está presente na atmosfera reage com algum outro material, que pode ser um componente natural da atmosfera ou outro poluente. Neste caso pode-se citar o ozônio ( $\text{O}_3$ ), Óxido Sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ), PANS (Peroxiacetilnitrato), etc., todos eles oxidantes fotoquímicos (LISBOA, 2007).

Figura 2.3 - Poluentes primários e secundários



Fonte: Lisboa (2007).

A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera vai definir o nível de qualidade do ar, que determina por sua vez, o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores, que podem ser o homem, os animais, as plantas e as construções (CETESB, 2012).

Pode-se classificar os poluentes também de acordo com o seu estado:

- Gasosos: comportam-se como o ar, uma vez difundido, não tende mais a se depositar;
- Partículas: considerando que este parâmetro não é um composto químico definido, surge a necessidade de defini-lo. São considerados poluentes particulados: as névoas de compostos inorgânicos e orgânicos sólidos, com diâmetro aerodinâmico inferior a 100  $\mu\text{m}$  e que permaneçam em suspensão por um período mais longo quanto menores forem as partículas (INEA, 2009).

A medição sistemática da qualidade do ar é restrita a um número de poluentes adotados universalmente, definidos em função de sua importância e dos recursos disponíveis para seu acompanhamento. Apresenta-se na Tabela 2.2, as fontes, características e efeitos dos principais poluentes na atmosfera.

Tabela 2.2 - Fontes, Características e Efeitos dos Principais Poluentes na Atmosfera

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis (MP <sub>10</sub> ) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 100 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol, marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo.
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO <sub>3</sub> , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO <sub>2</sub> )	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O <sub>3</sub> )	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: CETESB (1999).

Segundo Villanueva (2002), em nível global, a mudança climática, é sem dúvida, o maior problema ambiental experimentado pela terra nos últimos 100 anos. É importante conceituar e diferenciar o aquecimento global e o Efeito Estufa e as suas influências climáticas conforme descrito a seguir:

O aquecimento global é o aumento potencial da temperatura média global resultante do aumento da concentração dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, emitidos pela atividade humana como a queima de combustíveis fósseis, combustão da biomassa das florestas e o desmatamento.

O efeito estufa é um fenômeno natural que permite a vida na Terra porque mantém a temperatura estável durante o dia e a noite. Sem os gases estufa, estima-se que a temperatura média na superfície da Terra seria de 15 a 20° C abaixo de zero, pois a energia do Sol é transmitida até a Terra através de radiações eletromagnéticas.

Para Goldemberg (1998) apud Villanueva (2002), a atmosfera da Terra é quase totalmente transparente à radiação solar incidente: uma pequena fração dessa radiação (principalmente a luz visível) é refletida de volta para o espaço, mas a maior parte dela atinge a superfície da Terra, onde ela é absorvida e remetida em todas as direções como radiação térmica. A atmosfera contém, porém gases que não são transparentes à radiação térmica. Como consequência, a atmosfera fica mais quente do que ficaria na ausência dos GEE. Eles atuam como um “cobertor” ao redor da Terra e a aquecem, da mesma forma que uma estufa permanece suficientemente quente no inverno, para permitir o crescimento de vegetais e flores fora das estações.

Os principais gases do efeito estufa, constantes no Protocolo de Quioto são: o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ), os clorofluorcarbonos (CFC), os hidrofluorcarbonos (HFC) e os perfluorcarbonos (PFC). O ozônio também possui a característica de retenção da radiação infravermelha, mas como é instável na atmosfera, pode ser chamado de um gás de efeito estufa de vida curta (GOLDEMBERG, 1998 apud VILLANUEVA, 2002).

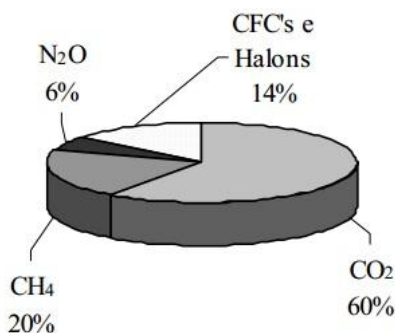
A capacidade desses gases em contribuir para o aquecimento global depende de seu tempo de vida na atmosfera e de suas interações com os outros gases e com o vapor d'água. Tal eficácia é medida por um indicador denominado Potencial de Aquecimento Global (PAG). Os aerossóis têm um tempo de vida na atmosfera muito menor do que os Gases do Efeito Estufa. O PAG dá a contribuição relativa devido à



emissão, na atmosfera, de 1 kg de um determinado gás estufa, comparada com a emissão de 1 kg de  $\text{CO}_2$  (VILLANUEVA, 2002).

O  $\text{CO}_2$  é o principal contribuidor veicular e referência (valor igual a 1) para o aquecimento por Efeito Estufa, mas o fato do  $\text{CH}_4$  ter um PAG vinte e uma vezes maior que o  $\text{CO}_2$  explica porque o metano, que é menos abundante do que o  $\text{CO}_2$  na atmosfera ( $1,71 \text{ ppmv}^1$ , comparado com  $335 \text{ ppmv}$ ), contribui, significativamente, para o aquecimento global, como é indicado na Figura 2.4.

Figura 2.4 - Contribuição dos Gases do Efeito Estufa para o Aquecimento Global



Fonte: Villanueva (2002), modificado de Goldemberg (1998).

Os HFC e os PFC foram introduzidos como produtos alternativos às substâncias responsáveis pela destruição da camada de ozônio (os CFC), enquanto que o  $\text{SF}_6$ , o gás com maior PAG considerado pelo protocolo de Quioto, é muito usado nos sistemas de transmissão e distribuição de eletricidade (VILLANUEVA, 2002).

O efeito do ozônio atmosférico no aumento do “efeito estufa natural”, entretanto, não é desprezível. Ele não é emitido diretamente, mas é formado através de reações químicas entre poluentes primários, como o monóxido de carbono (CO), os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e os compostos orgânicos voláteis (COV), na atmosfera. O aumento das emissões de gases do efeito de estufa pelos seres humanos pode potencializar o efeito estufa natural (que já existe na Terra), tendo como

<sup>1</sup> ppm: partes por milhão, significa, segundo a norma ABNT NBR 6601 de 2005, uma parte por milhão de volume, ou seja, número de unidades de volume de determinada amostra de gás, contidas em um milhão de unidades de volume da mistura gasosa.

consequência o aquecimento global (GOLDEMBERG, 1998 apud VILLANUEVA, 2002).

Quaisquer mudanças feitas pelo homem no equilíbrio da Terra, incluindo aquelas devidas a um aumento nos GEE tenderá a alterar a temperatura atmosférica e oceânica, a circulação associada e os tipos de clima. Essas mudanças se sobrepõem às variações naturais do clima; para distingui-las, é necessário identificar “sinais”, contra o “ruído de fundo”, da variabilidade climática natural, o que não é uma tarefa fácil (GOLDEMBERG, 1998 apud VILLANUEVA, 2002).

## 2.3 POLUIÇÃO VEICULAR

### 2.3.1 A Poluição de Fontes Móveis Veiculares

Em nível mundial, a poluição atmosférica urbana advinda de fontes móveis veiculares é hoje em dia, sem dúvida, um dos problemas ambientais mais significativos, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento.

O setor de transporte rodoviário é responsável por 51% de todo o consumo de derivados de petróleo no Brasil. De toda a energia consumida no setor de transportes no Brasil em 2009, 92% foram do transporte rodoviário e 80% dizem respeito a derivados de petróleo (MME, 2009).

Um aspecto sentido no Brasil é o problema dos enormes congestionamentos em grandes centros urbanos, sendo a cidade de São Paulo seu maior destaque, ocasionando problemas de redução na produtividade de recursos humanos, perdas de tempo e principalmente o aumento da poluição atmosférica, sonora e consumo de combustíveis. Com o sistema de transporte coletivo precário e acesso fácil a crédito oferecido pelo governo na compra de novos veículos, cada vez mais aumenta a quantidade de veículos em circulação e, conseqüentemente, a poluição do ar. Tantos impactos negativos vão acarretar uma redução na qualidade de vida das pessoas causando estresse e sérios riscos de saúde.

Atualmente, de acordo com Andrade e Mattei (2011), tomando-se como referência o primeiro e o segundo inventário de emissões de gases do efeito estufa elaborados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), algumas considerações podem ser feitas com o objetivo de ratificar a importância do setor de transportes nas emissões de gases CO<sub>2</sub> para o efeito estufa do Brasil.

Dentre os três setores inventariados, “Energia”, “Processos Industriais” e “Mudança no Uso da Terra e de Florestas”, este último

responde por mais de 75% do total das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub>, enquanto que as emissões decorrentes da matriz energética brasileira apresentaram uma participação relativa em torno dos 22% (MCT, 2009 apud Andrade e Mattei, 2011).

Para compreender a dinâmica que rege as emissões do setor “Energia”, a Tabela 2.3 apresenta os dados do setor de forma desagregada, nos seis subsetores consumidores de combustíveis fósseis: Energético, Industrial, Transporte, Residencial, Agricultura e Outros, além apresentar as “emissões fugitivas” (onde são incluídas as emissões de gases de efeito estufa durante o processo de mineração, estocagem, processamento e transporte de carvão mineral e durante o processo de extração, transporte e processamento de petróleo e gás natural).

Cabe destacar que o setor “Processos Industriais” refere-se às emissões resultantes dos processos produtivos da indústria que não são resultado da queima de combustíveis. As emissões decorrentes da queima de combustíveis estão agrupadas no setor “Energia” que, segundo a metodologia do MCT, pode ser desagregado nos seguintes subsetores: Industrial, Energético, Transporte, Residencial, Agricultura e Outros.

Tabela 2.3 - Emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da Matriz Energética<sup>2</sup>

Subsetores da Matriz Energética		1990	2005	Participação no Total das Emissões Brasileiras em 1990	Participação no Total das Emissões Brasileiras em 2005
		Em Gg CO <sub>2</sub>		Em %	
<b>Queima de Combustíveis Fósseis</b>	Subsetor Energético	22.176	48.454	2,4	3,1
	Subsetor Industrial	64.903	114.620	7,0	7,3
	Subsetor Transporte	82.235	136.155	8,8	8,6
	Subsetor Residencial	13.817	15.429	1,5	1,0
	Subsetor Agricultura	10.052	14.808	1,1	0,9
	Outros Setores	2.584	3.611	0,3	0,2
	Emissões Fugitivas	7.451	13.913	0,8	0,9
	<b>Total</b>	<b>203.218</b>	<b>346.990</b>	<b>21,8</b>	<b>22,0</b>

Fonte: MCT (2009 apud ANDRADE; MATTEI, 2011).

<sup>2</sup> Para facilitar comparações entre os resultados, a unidade recomendada pelo IPCC para os inventários é o GgCO<sub>2</sub> (Giga grama de CO<sub>2</sub>), sendo que 1GgCO<sub>2</sub> equivale a 1.000 toneladas de CO.

Conforme Andrade e Mattei (2011), dos números da Tabela 2.3, conclui-se que o subsetor de transportes, ao emitir 8,6% do total das emissões brasileiras em 2005, é o principal emissor de CO<sub>2</sub> da matriz energética, com um percentual equivalente a 39,2% de todas as emissões do gás proveniente do setor Energia. Se comparada ao total das emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> no ano de 2005, incluindo o desmatamento, o subsetor de transportes seria ultrapassado apenas pelas emissões oriundas da mudança do uso do solo, ou seja, após a crítica questão envolvendo o desmatamento, o setor de transportes pode ser considerado o principal responsável pelas emissões brasileiras.

Este elevado volume de emissões do setor de transporte relaciona-se diretamente com o alto consumo energético que o setor possui e que se agrava ainda mais pelo elevado índice de dióxido de carbono (ICO<sub>2</sub><sup>3</sup>) na energia consumida, fruto da elevada dependência em relação aos combustíveis fósseis (ANDRADE; MATTEI, 2011).

De acordo com um cenário futuro, desenvolvido pela Agência Internacional de Energia (AIE, 2004), com base no ano de 2002, o setor de transportes sozinho, será responsável, até 2030, pelo aumento na demanda mundial por petróleo na ordem de 30 milhões de barris por dia, respondendo assim por 25% do aumento das emissões mundiais de CO<sub>2</sub>. Em contrapartida, ainda de acordo com este cenário, mediante ações específicas neste setor pode-se alcançar um potencial de redução de 64% na demanda mundial de petróleo, sendo o aumento da eficiência energética no uso final o fator que mais contribui para esta redução com 58% de contribuição (ABREU, 2007).

### **2.3.2 A Combustão Ideal em Motores do Ciclo Otto**

O modo de transporte rodoviário utiliza o Motor de Combustão Interna (MCI), desenvolvido inicialmente em 1860 pelo francês Etienne Lenoir e que, mais tarde em 1885, o alemão Karl Benz, o aperfeiçoou para um motor de combustão interna de relativa segurança, que foi instalado em um veículo para rodar numa estrada pela primeira vez, sendo por isso considerado até hoje o “pai do automóvel”. O princípio de funcionamento deste motor é basicamente o mesmo até hoje, ou seja, é uma máquina térmica que converte a energia química do combustível, geralmente derivado do petróleo, em energia mecânica que é utilizada para movimentar o veículo.

---

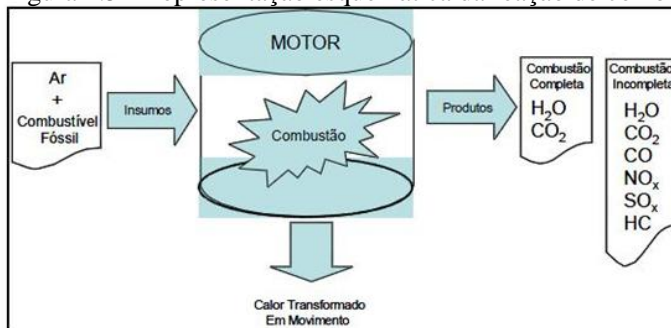
<sup>3</sup> ICO<sub>2</sub>: O índice de CO<sub>2</sub> na energia é calculado pela divisão das emissões de CO<sub>2</sub> pelo consumo energético de um determinado setor.

Os insumos básicos para a reação de combustão interna dos motores são: o oxigênio ar e a matéria orgânica advinda dos combustíveis fósseis, com altos teores do elemento químico carbono. Os motores de combustão interna podem ser classificados em duas amplas categorias: motores de combustão interna por faísca ou centelha, também chamados de motores de ciclo Otto – movidos por gasolina, álcool e GNV; e motores de combustão interna por compressão espontânea de óleos, também chamados de motores do ciclo Diesel (construídos em 1897 por Rudolf Diesel, onde o ar, e não o combustível, é comprimido pelo pistão a temperaturas de até 538°C).

As principais diferenças construtivas destes motores (ciclo Otto e ciclo Diesel) têm relação com o sistema de introdução de combustível: robustez, relações de compressão de ambos e ignição. Nestes motores, respectivamente, a combustão pode ocorrer por centelha elétrica ou por ignição por compressão, sendo que os gases produzidos se expandem realizando trabalho e, em seguida, são eliminados pelo escapamento, completando um ciclo que se repete.

As reações químicas de combustão consomem oxigênio (geralmente proveniente do ar) e liberam energia sob a forma de calor. Além disso, caso a combustão seja completa (proporções quimicamente corretas entre oxigênio e matéria orgânica) haverá, de forma geral, a produção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), caso contrário, além da produção de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , haverá, também, a produção de monóxido de carbono (CO) além de outras substâncias químicas como óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e hidrocarbonetos (HC) (Figura 2.5) caracterizando, desta forma, as emissões veiculares (RIBEIRO et al.,2000).

Figura 2.5 - Representação esquemática da reação de combustão



Fonte: Abreu (2003).

Para que o motor funcione economicamente e que não polua o ambiente urbano, ele deve receber, em todas as faixas de rotação, uma mistura perfeita de combustível (líquido ou gasoso) e o ar, chamada de relação estequiométrica. Nos motores antigos, era o carburador, o componente mecânico responsável por esta mistura. Hoje, é o sistema de injeção eletrônica de combustível o responsável por uma mistura mais equilibrada entre combustível e o oxigênio do ar, reduzindo assim, significativamente, a emissão de poluentes com a redução do consumo de combustíveis.

Conforme Dutra (2007) uma relação estequiométrica é aquela que possui a relação exata entre as quantidades mássicas de comburente ( $O_2$ ) e combustível (álcool, gasolina, diesel, gás natural) necessária para uma reação de combustão ideal. Para isso, é preciso uma boa homogeneização dos reagentes (ar e combustível), o que irá garantir uma queima quase completa e fará, também, com que o motor funcione com maior eficiência. Para que isso ocorra é necessário que, para uma determinada quantidade de ar admitida pelo motor, seja liberada uma quantidade exata de combustível, de maneira que a reação seja a mais próxima possível da ideal. A mistura ar-combustível nos motores pode variar de acordo com o combustível utilizado, sendo assim, para a obtenção de uma mistura estequiométrica é necessário, aproximadamente:

- 14,7 kg de ar para cada quilograma de gasolina (pura) consumida;
- 14,5 kg de ar para cada quilograma de diesel consumido;
- 8,95 kg de ar para cada quilograma de álcool consumido;
- 16,4 kg de ar para cada quilograma de gás natural veicular (GNV).

A variável *lambda* ( $\lambda$ ) representa a razão entre a quantidade de ar real e a quantidade de ar necessária para haver a combustão estequiométrica da quantidade de combustível envolvida na reação. Expressa a razão entre a relação ar/combustível utilizada (instantânea) e a relação ar/combustível ideal como mostrado na equação a seguir (PULKRABEK, 1997 apud DUTRA, 2007):

$$\lambda = \text{massa do ar real} / \text{massa do ar estequiométrico}$$

A partir da análise de possíveis valores de  $\lambda$ , tem-se que:

- $\lambda = 1$ , indica que a mistura real está muito próxima da mistura estequiométrica, sendo considerada, para efeitos práticos, como estequiométrica. É a condição ideal de funcionamento dos motores do ciclo Otto, pois nessa situação há um equilíbrio entre potência, consumo, dirigibilidade e emissões. O motor trabalha com a exata proporção ar/combustível próxima da necessária para uma combustão completa.
- $\lambda > 1$ , indica que a mistura está com maior quantidade de ar do que a estequiométrica correta, ou seja, com menor quantidade de combustível que o ideal. Essa mistura é conhecida por “mistura pobre”. Essa condição é característica de menor consumo de combustível e de menor potência. O limite de funcionamento pobre depende da construção do motor e do sistema de preparação da mistura. No limite de funcionamento pobre a mistura não é mais facilmente inflamável e ocorrem falhas de combustão. Para reduzir o consumo o motor deve funcionar em aceleração e rotação constantes. Como no automóvel essa situação raramente se verifica, a mistura pobre não traz a economia esperada e, ainda, a dirigibilidade fica prejudicada em praticamente toda a faixa de operação. O limite do funcionamento desses motores ocorre nas proximidades de  $\lambda$  igual a 1,35 (PULKRABEK, 1997 apud DUTRA 2007).
- $\lambda < 1$ , indica que a mistura está com quantidade de ar menor do que a estequiométrica correta, ou seja, com excesso de combustível. Essa mistura é conhecida por “mistura rica”. O valor de potência máxima, para combustíveis líquidos, é obtido para misturas ricas, porém numa estreita faixa, com  $\lambda$  entre 0,85 e 0,95. Além de potência, os motores do ciclo Otto ganham dirigibilidade, porém o consumo aumenta, assim como as emissões de CO, NO<sub>x</sub> e HC. Em regiões de  $\lambda$  inferiores a 0,85 a mistura fica extremamente rica, com pouco oxigênio para ser queimada. Com isso, o rendimento cai sensivelmente e o motor tende a “afogar”.

Para o combustível GNV, a potência máxima é obtida em  $\lambda=1$  (estequiométrica) apenas.

Manavella (2005) descreve os quatro gases mais importantes para o diagnóstico de falhas de dirigibilidade e de emissões do motor. A ênfase será dada a análise dos quatro gases HC, CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, todos

eles presentes e fundamentais no processo de descrição da mistura estequiométrica ar-combustível  $\lambda$  durante a combustão dos motores, como será visto a seguir:

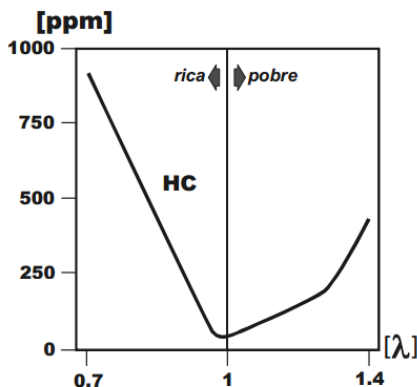
a) Hidrocarbonetos (HC):

É combustível não queimado na câmara de combustão. Nenhum motor consegue queimar todo o combustível contido na mistura. Isto devido ao fato que quando a frente de chama atinge as paredes do cilindro (sempre mais frias), esta desaparece deixando uma pequena quantidade de combustível sem queimar. A quantidade de hidrocarbonetos presente nos gases de escape é medida (nos analisadores disponíveis no mercado) em partes por milhão (ppm) ou quantidades de moléculas de HC por milhão de moléculas.

Um nível excessivo de HC é resultante de falhas de combustão. Estas falhas não estão necessariamente (sempre) associadas à falha no sistema de ignição; qualquer dispositivo ou processo defeituoso, que interrompa prematuramente a combustão nos cilindros, provocará o aumento do nível de HC no escape.

A Figura 2.6 mostra a relação do HC com a mistura estequiométrica ar mais combustível do motor, onde o funcionamento ideal do mesmo é quando fator *lambda*  $\lambda$  é igual a 1. Observa-se que HC aumenta tanto na mistura rica como na mistura pobre do combustível, ou seja, quando fator *lambda*  $\lambda$  é menor que 1 e maior que 1.

Figura 2.6 - Relação do HC com o fator *lambda*  $\lambda$ .



Fonte: Manavella (2005)

Outras possíveis causas mecânicas de elevados níveis de HC emitidos no escapamento dos veículos podem estar vinculadas a: cabos



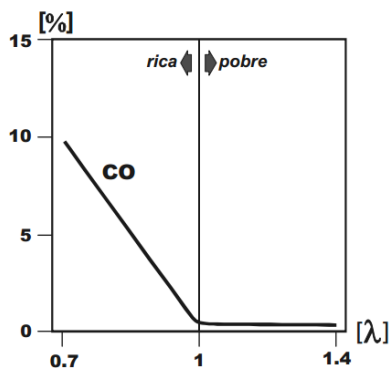
de alta tensão defeituosos, baixa compressão nos cilindros, velas com folga inadequada, velas carbonizadas, bobina de ignição, relação ar/combustível muito rica ou muito pobre, catalisador ineficiente, defeituoso.

b) Monóxido de carbono (CO):

É o resultado da combustão incompleta ou parcial do combustível, na câmara de combustão. No caso de misturas ricas, a quantidade de CO produzida está em proporção direta com a relação ar/combustível. O nível de CO no escape é medido em percentual (%) de volume do total amostrado de emissões. Quanto mais rica a mistura, maior o percentual de CO produzido.

O nível de CO é de aproximadamente 0,5% para mistura estequiométrica, ou seja, para  $\lambda = 1$ . A partir desse ponto, o nível se mantém quase constante para toda a gama de fator lambda superior a 1. A análise do nível de CO para misturas pobres não tem utilidade, pois a emissão de CO é mínima, conforme a Figura 2.7. Alta taxa de CO no escape indica excesso de combustível ou falta de oxigênio na mistura; ou seja, presença de mistura rica.

Figura 2.7 - Relação do CO com o fator lambda  $\lambda$ .



Fonte: Manavella (2005).

c) Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

É utilizado para determinar o nível de eficiência de funcionamento do motor. É resultante da combinação de uma molécula de carbono com duas de oxigênio, isto durante o processo de combustão. Os analisadores medem a porcentagem de CO<sub>2</sub> presente na amostra dos gases de escape.

A medição do percentual de  $\text{CO}_2$  presente nos gases permite visualizar a eficiência de funcionamento do motor no momento da leitura. Qualquer deficiência verificada no funcionamento do motor, relacionada com o processo de combustão, afetará o nível de  $\text{CO}_2$ .

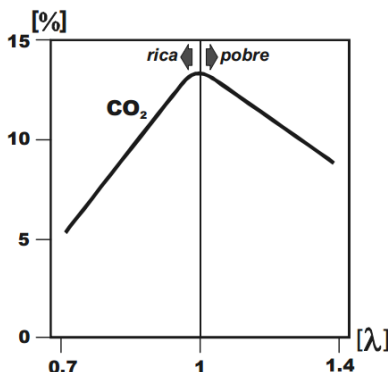
A formação de  $\text{CO}_2$  depende da queima total ou não, do combustível. Por tanto, em presença de falhas de combustão, o nível de  $\text{CO}_2$  produzido será menor que aquele correspondente à combustão completa.

O nível de  $\text{CO}_2$  também é afetado pelas variações na relação estequiométrica ar/combustível; assim, o nível de  $\text{CO}_2$  é máximo quando se processa a queima de mistura estequiométrica  $\lambda = 1$  ou em torno dela, conforme Figura 2.8.

O percentual de  $\text{CO}_2$  no escape varia com o tipo de veículo, mas níveis superiores a 12% é indicação de motor funcionando eficientemente e sistema de escape em boas condições. Já níveis inferiores a 12% são indicação de alguma anomalia; para identificar o problema deve ser analisado o comportamento de um ou mais dos outros componentes dos gases de escape.

Analisando a Figura 2.8, vemos que tanto para condição de mistura pobre, como para rica, o nível de  $\text{CO}_2$  diminui.

Figura 2.8 - Relação do  $\text{CO}_2$  com o fator lambda  $\lambda$ .



Fonte: Manavella (2005)

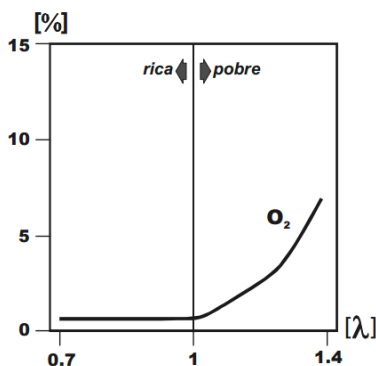
#### d) Oxigênio ( $O_2$ )

O percentual de oxigênio é um indicador da condição de mistura pobre. Quando o motor está funcionando na condição de mistura pobre, a taxa de  $O_2$  cresce assim que a mistura se torna mais pobre. Este aumento na taxa continua até o ponto em que o motor começa a apresentar falhas de combustão por causa de mistura excessivamente pobre. A partir deste ponto o nível de  $O_2$  aumenta acentuadamente.

Com a mistura no nível apropriado, catalisador e sistema de escapamento funcionando corretamente, a taxa de  $O_2$  não deve ultrapassar o nível de 1% a 2%.

Na Figura 2.9, observa-se o aumento do  $O_2$  quando o fator lambda está representando uma mistura não estequiométrica, ou seja, um mistura pobre e com valor praticamente constante para a mistura rica.

Figura 2.9 - Relação do  $O_2$  com o fator lambda  $\lambda$



Fonte: Manavella (2005)

Em resumo, pode-se afirmar:

- Condição de mistura rica provoca um aumento do nível de CO e HC;
- Motor funcionando eficientemente, nível de  $CO_2$  superior a 12;
- Condição de mistura pobre provoca aumento no nível de  $O_2$ ;
- Vazamento no sistema de escape, mas sem problemas no motor, provoca aumento do nível de  $O_2$ .

### 2.3.3 Principais Poluentes Atmosféricos Veiculares

De acordo com Villanueva (2002), a quantidade e características dos gases de escape emitidos por um veículo automotor leve com ignição por centelha dependem principalmente, dos seguintes fatores:

- Qualidade e especificações físico-químicas do combustível;
- Presença ou não de sistemas de controle de emissões, como o catalizador;
- Características dos sistemas de gerenciamento da combustão, ou seja:
  - Características dos sistemas de alimentação do ar e do combustível e do sistema de ignição (relação ar/combustível);
  - Características operacionais do sistema propulsor (taxa de compressão do motor, geometria do pistão e da câmara de combustão, tipo de refrigeração e lubrificação, características da caixa de câmbio, etc.);
- Características das variáveis ambientais (altitude, temperatura ambiente e umidade) também afetam a operação do motor e, consequentemente, a formação de poluentes.

A seguir são apresentadas as características mais significativas dos principais poluentes dos escapamentos veiculares:

#### a) Monóxido de Carbono (CO)

As emissões de monóxido de carbono são, originadas a partir da combustão incompleta em veículos automotores, ou seja, são causadas pela combustão de misturas ricas, onde a relação ar-combustível é menor que 1. Em tais misturas não há oxigênio suficiente para converter todo o carbono em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (FAIZ et al., 1996 apud ABREU, 2003).

A conversão de CO para CO<sub>2</sub> na atmosfera é lenta e leva de dois a cinco meses, atuando em altos níveis em áreas de intensa circulação de veículos dos grandes centros urbanos. É considerado o poluente mais perigoso em relação à toxidez respiratória em animais e no ser humano, pois não é percebido pelos sentidos já que não possui cheiro, não tem cor e não causa irritação. Possui elevada afinidade com a hemoglobina, que é o agente transportador de oxigênio de sangue e ao causar bloqueio da mesma, reduz o suprimento de oxigênio para os órgãos, acarretando assim prejuízos na rapidez dos reflexos, capacidade de estimar intervalos de tempo e acuidade visual. Com um bloqueio de 25% do CO

na hemoglobina, as pessoas sofrem sintomas como dores de cabeça, tonturas e náuseas, podendo causar morte (SALDIVA, 2005 apud DUTRA, 2007).

#### b) Hidrocarbonetos (HC)

As emissões de hidrocarbonetos são resultantes de elementos da mistura ar-combustível que não foram queimados ou que sofreram apenas oxidação parcial, mistura rica,  $\lambda$  é menor que 1, até o momento em que a válvula de escapamento dos cilindros do motor é aberta.

Em geral, as emissões de hidrocarbonetos são diferenciadas em metano ( $\text{CH}_4$ ) e hidrocarbonetos não metano (HCNM). No caso dos veículos a gás natural, o metano está presente em proporção de 80-90% dos gases de escapamento do veículo (PESSANHA, 2004).

Essas emissões são compostas por combustível não queimado e por produtos da combustão parcial do mesmo, tais como, o etileno e o formaldeído. Outro fator determinante dessas emissões é a mistura pobre, ou seja,  $\lambda$  é maior que 1, já que, nesta mistura a velocidade da chama da ignição da vela, pode ser muito baixa a ponto de não completar a combustão durante a etapa da explosão, podendo até mesmo fazer com que a combustão não ocorra (FAIZ et al., 1996; ABREU, 2003). A maioria dos HC não é diretamente prejudicial à saúde nas concentrações encontradas no ar ambiente, contudo, em reações químicas na troposfera, participam da formação do  $\text{NO}_2$  e do ozônio, que são perigosos para o meio ambiente e para a saúde, pois possuem odor desagradável, irritam os olhos, o nariz, a pele e a parte superior do aparelho respiratório (LOUREIRO 2005; DUTRA, 2007).

#### c) Óxidos de Nitrogênio ( $\text{NO}_x$ )

Os dois principais óxidos de nitrogênio presentes são o óxido nítrico (NO) e o dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) sendo que a maior parte (90%) é composta pelo óxido nítrico. Este gás é formado pela combinação, em altas temperaturas, de nitrogênio do ar com o oxigênio livre (que não está combinado com outro elemento químico). Sua taxa de formação é uma função direta em relação à disponibilidade de oxigênio e exponencial em relação às altas temperaturas de combustão (FAIZ et al., 1996 apud ABREU, 2003). O gás NO, de aspecto incolor, inodoro e insípido, ainda não está comprovado constituir perigo à saúde nas concentrações que é encontrado nas cidades, mas oxidado em dias de alta radiação transformando-se em  $\text{NO}_2$ , de cor marrom-avermelhada, apresenta alta toxicidade, cheiro e gosto desagradáveis. É irritante dos olhos e das mucosas nasais, provoca enfisema pulmonar e pode se transformar, dentro dos pulmões, em compostos carcinogênicos denominados nitro aminas. O  $\text{NO}_2$  reage com a água presente no ar

formando um dos principais componentes da chuva ácida: o ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). Nas reações atmosféricas secundárias, o  $\text{NO}_2$  associado ao HC, é também responsável pelo surgimento do *smog* fotoquímico, conforme descrito anteriormente (BRANCO, 2005 apud DUTRA, 2007).

#### d) Material Particulado (MP)

O MP, também conhecido por fuligem, é o principal responsável pela cor escura da fumaça que sai do escapamento de alguns automóveis, caminhões e ônibus e também das chaminés das fábricas. O material particulado do diesel provém, principalmente, da combustão incompleta dos hidrocarbonetos e outros componentes do combustível como o enxofre, além da queima do óleo lubrificante do motor (DUTRA, 2007).

As emissões de MP em motores de combustão interna por centelha são resultantes da saída de óleo lubrificante, não queimado, através do escapamento, e do uso de aditivos (no combustível e no óleo lubrificante) que contenham substâncias formadoras de cinzas tal como o chumbo tetraetila. Geralmente, as emissões de MP em motores de ignição não são mensuradas o que acaba levando as mesmas a serem desprezadas. Apesar de serem bem menores que as emissões nos motores a diesel, essas emissões não devem ser desprezadas já que podem se tornar significativas quando não houver manutenção adequada do motor (FAIZ et al., 1996 apud ABREU, 2003).

São as partículas mais finas, menores que 10 micrometros, consideradas partículas inaláveis (MP10), que apresentam maiores riscos à saúde. Assim, a partir de 1990, a legislação brasileira passou a se preocupar, também, com essas partículas que penetram mais profundamente no aparelho respiratório porque, sendo muito finas, não são retidas pelas defesas do organismo, tais como pelos do nariz e mucosas, acarretando doenças cardiopulmonares e câncer do pulmão (DUTRA, 2007).

De acordo com Saldiva (2005 apud DUTRA, 2007), problemas de saúde pública estão relacionados com altas concentrações atmosféricas de particulados e do ozônio urbano. As análises estatísticas dos resultados do monitoramento da qualidade ar na RMSP indicaram que a atuação do PROCONVE reduziu significativamente o número de atendimentos em prontos-socorros. Além disso, promoveu a diminuição do número de mortes provocadas pela poluição de 14 para 10 ao dia e já contribuiu para que fossem evitadas pelo menos 4700 mortes prematuras no período de 1997 a 2000.

e) Óxidos de Enxofre ( $\text{SO}_x$ )

Nos processos de combustão dos combustíveis gasolina e óleo diesel, o enxofre que está nestes combustíveis aparece como o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) ou o trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ) nos produtos de combustão e a combinação destes dois óxidos é denominada de  $\text{SO}_x$ . Esta conversão do enxofre contida nestes combustíveis diminui bastante, ultimamente, com a adição do álcool etílico na gasolina e no óleo diesel com uma redução significativa do teor enxofre (LOUREIRO, 2005).

O  $\text{SO}_2$  tem cheiro bastante irritante, causam inflamações graves da mucosa aumentando a secreção nas vias respiratórias superiores e aumentam a incidência de renite, faringite e bronquite (DUTRA, 2007).

f) Poluentes Tóxicos

Os motores de ignição podem emitir componentes químicos tóxicos como compostos de chumbo, benzeno, 1,3 butadieno, e aldeídos. O benzeno é um dos muitos HC presentes no escapamento dos motores a gasolina (4% do total de HC) e o 1,3 butadieno é produto da combustão parcial dos HC. Os aldeídos também são produtos da combustão parcial dos HC, sendo altamente reativos e formando outros produtos durante a combustão. As emissões de aldeídos são causadas pela interrupção da reação da mistura que pode ocorrer, por exemplo, devido ao contato com uma superfície fria. Em combustíveis que contenham etanol e metanol, uma vez que se interrompa a reação da mistura, ocorrerá a formação de formaldeído e acetaldeído, respectivamente (FAIZ et al., 1996 apud ABREU, 2003).

g) Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )

Embora o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) não seja considerado um gás poluente, pela sua responsabilidade como um dos principais causadores do efeito estufa, o mesmo será incluído junto a esta categoria de poluentes veiculares. O  $\text{CO}_2$  é mais pesado que o ar, insípido e inodoro. Apesar de não causar danos diretos ao organismo humano, altas concentrações implicariam, necessariamente, em baixas concentrações de oxigênio no ar. O  $\text{CO}_2$  é o único elemento resultante da combustão que é diretamente proporcional à quantidade de combustível queimado e, portanto, motores de baixo consumo específico são desejáveis para combater altos níveis de emissão de  $\text{CO}_2$  (DUTRA, 2007).

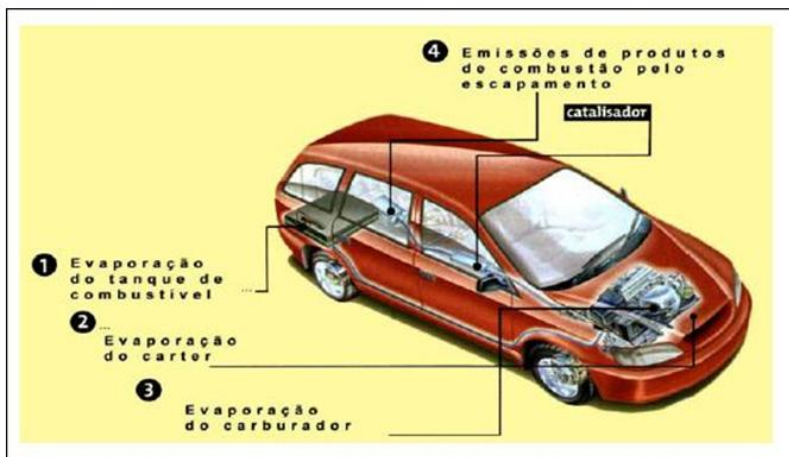
### 2.3.4 Fontes das Emissões de Poluentes Veiculares

As emissões de poluentes originadas pelo uso de veículos automotores podem ser divididas nas seguintes categorias (CETESB, 2011; SZWARCFITER, 2003):

- Emissões de gases e partículas pelo escapamento do veículo (subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento), a serem pesquisados neste trabalho;
- Emissões evaporativas de combustível (lançadas na atmosfera através de evaporação de hidrocarbonetos do combustível);
- Emissões de gases do cárter do motor (subprodutos da combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante);
- Emissões de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios e embreagem;
- Ressuspensão de partículas de poeira do solo e emissões evaporativas de combustível nas operações de transferência de combustível (associadas ao armazenamento e abastecimento de combustível).

A Figura 2.10 mostra alguns desses pontos:

Figura 2.10 - Pontos de Emissão de Poluentes do Ar em Veículo Automotor



Fonte: FEAM (2004 apud LOUREIRO, 2005).

As principais fontes de poluentes veiculares que são objeto de controle são: as emissões do cárter, as emissões evaporativas do sistema de abastecimento e as emissões de gases e partículas pelo escapamento do veículo.



a) Emissões de gases do cárter

As emissões evaporativas do cárter são resultado do escape de gases de combustão que passam pelos anéis dos pistões, durante a compressão do motor e também de gases e vapores do óleo lubrificante. Os hidrocarbonetos (HC) nas suas distintas configurações são os elementos poluentes que aparecem em maior proporção nas emissões dos gases do cárter (GOMES et al., 1994; BALASSIANO, 1991 apud AZUAGA, 2000).

b) Emissões evaporativas do sistema de abastecimento

As emissões evaporativas do sistema de abastecimento de combustível, com a emissão de hidrocarbonetos (HC), podem ocorrer de cinco formas. A primeira é na forma de emissão diurna quando o tanque do veículo expira uma mistura de ar (sugado pelo tanque ao se esfriar durante a noite) e vapores devido ao aquecimento que ocorre durante o dia. A segunda é por saturação a quente (*hot soak*) que ocorre imediatamente depois de desligado o motor, quando seu calor residual aquece o carburador, fazendo com que o combustível se evapore (uma vez que o carburador é aberto para a atmosfera). O sistema com carburador foi utilizado, universalmente, antes do advento da regulamentação de emissões e ainda é comum em países onde não são aplicados padrões restritivos de emissões. A terceira forma ocorre durante a movimentação do veículo devido ao aquecimento da gasolina no tanque durante a marcha. Em sistemas que utilizam a injeção direta ao invés de carburador, que é o caso dos veículos novos produzidos no Brasil, ocorre uma grande redução das emissões por saturação a quente, já que, o sistema de injeção direta é selado e não aberto como o sistema com carburador. Entretanto, tais sistemas podem aumentar as emissões durante a movimentação devido à recirculação do combustível quente vindo do motor de volta para o tanque. A quarta forma de emissão evaporativa é devida a restos de plástico e borracha que permeiam para o sistema de abastecimento. E finalmente, a quinta forma que ocorre devido ao vazamento durante o abastecimento do veículo nos postos (FAIZ et al., 1996; LORA, 2000; ABREU, 2003).

c) Emissões de gases e partículas pelo escapamento

As emissões de escapamento são os subprodutos da combustão lançados à atmosfera pelo tubo de escapamento. Os produtos da combustão completa, a rigor técnico, são dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapores de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e da combustão incompleta, poluentes são monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), aldeídos (R-CHO) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ , ou seja, NO ou  $\text{NO}_2$ ), e ainda têm os produtos indesejáveis como material particulado (MP) e

óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ , ou seja,  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$ ) mais expressivos em motores de ciclo Diesel. A formação de  $\text{SO}_x$  deve-se ao conteúdo de enxofre presente nos combustíveis (BALASSIANO, 1991 apud AZUAGA, 2000).

Além dos poluentes citados, há de se considerar o ozônio ( $\text{O}_3$ ) que não é gerado no processo de combustão. A transformação fotoquímica dos óxidos de nitrogênio e dos compostos orgânicos voláteis (COV), como os hidrocarbonetos, na presença de luz solar, formam gases oxidantes agressivos, dentre eles, o ozônio. Esses gases poluentes formam uma névoa chamada de *smog* fotoquímico que diminui a visibilidade na atmosfera e provoca danos na estrutura pulmonar. O ozônio, nas baixas camadas da atmosfera (troposfera), é extremamente prejudicial à saúde e ao meio ambiente, ao contrário daquele presente na camada de ozônio estratosférica que protege a todos contra a agressiva radiação ultravioleta (DUTRA, 2007).

Conforme afirma Azuaga (2000), as emissões veiculares variam em função de um grande número de fatores, entre os quais: tecnologia automotiva, tecnologia dos combustíveis, características da frota circulante, comportamento do usuário, características do tráfego e conscientização do usuário.

Neste trabalho será abordada especificamente a tecnologia automotiva como forma de redução das emissões veiculares, o que inclui dispositivos mecânicos e eletrônicos regulamentados, chamados em conjunto de Sistemas de Controle de Emissões (SCE), para atuarem nos motores e seus sistemas de alimentação e escape, tendo o seu funcionamento adequado enquanto novos e durante toda a sua vida útil.

### **2.3.5 Tecnologias Automotivas para o Controle da Emissão Veicular**

Em 1986, o CONAMA, criou o PROCONVE, que tinha por objetivo implantar uma série de leis reguladoras e metas para montadoras automotivas com o intuito de reduzir as emissões de poluentes pelos automóveis, e consequentemente, minimizar os impactos ambientais nas vias urbanas, por eles causados.

Para efeito deste trabalho, levar-se-á em conta as resoluções do PROCONVE, somente no que tange os veículos leves, ou seja, carros de passeio (deixando de lado veículos pesados e ciclomotores, também regulamentados pela mesma lei).

Para a redução gradativa dos poluentes emitidos pelo escapamento dos veículos, o PROCONVE estipulou as seguintes fases, resumidamente:

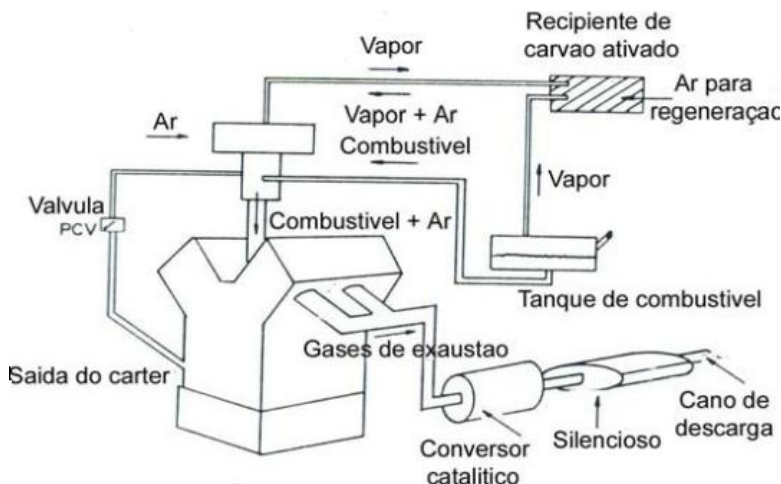
- A primeira fase implantada para os veículos leves (L-1), em 1988, que foi caracterizada pela eliminação dos modelos mais poluentes e aprimoramento da produção;
- Na segunda fase (L-2), em 1992, foram necessários o desenvolvimento e a introdução de novas tecnologias, em especial a injeção eletrônica de combustível e os conversores catalíticos. Outra questão foi a adequação de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica para uso com mistura de etanol, em proporção única no mundo;
- Para a terceira fase (L-3), que teve início em 1997, a indústria adicionou aos itens da segunda fase o sensor de oxigênio ou sonda *lambda*;
- Para a quarta fase (L-4), que iniciou em 2005, foram incorporadas aos motores novas tecnologias como a otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos de injeção;
- Para a quinta fase (L-5), que iniciou em 2009, foi prioridade as reduções de HC e NO<sub>x</sub> com inovações tecnológicas como o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica;
- E em 2014, entra a sexta fase (L-6), definindo novos limites máximos para a emissão de escapamento, redução do Enxofre (S) na gasolina para 50 partes por milhão (ppm), filtros para particulados, etc.

De acordo com Valiante (2006), apesar de notória evolução da eficiência dos motores de ignição por centelha, a queima da mistura ar-combustível ainda ocorre de maneira incompleta, gerando produtos indesejáveis nos gases de escape. A utilização de sistemas automotivos auxiliares promove a redução e controle de emissões de gases de escape, até os níveis compatíveis com a legislação vigente.

O Sistema de Controle de Emissões (SCE) é uma das exigências à fase L3 para veículos leves do PROCONVE, iniciada em 1997, que previa o uso de uma nova tecnologia automotiva para redução ainda maior da emissão de poluentes, incluindo dispositivos mecânicos e eletrônicos como a injeção eletrônica, o conversor catalítico, sensores de oxigênio anterior e posterior, sistemas de recirculação dos gases de escape bem como outros dispositivos eletrônicos que estão descritos na Figura 2.11.

A confiabilidade do SCE, incluindo a operação do motor que afeta a desempenho do SCE, é um ponto determinante para as emissões reais durante o ciclo de vida do veículo.

Figura 2.11 - Motor de Combustão Interna com Sistemas de Controle de Emissões



Fonte: Peirce et al, (1998 apud ABREU, 2003).

Quando há mau funcionamento do SCE, as emissões podem aumentar de 1 a 2 vezes a ordem de magnitude com relação aos níveis padrões no qual o veículo é certificado. Outra causa de discrepância entre os valores de emissão padrão e os de emissão real (durante o uso do veículo) residem no fato de que os ciclos de teste de emissões não correspondem ao ciclo típico de direção real e que não se comparam às emissões com a degradação dos componentes do SCE conforme o veículo envelhece. Com a falha ou o mau funcionamento do SCE, até veículos novos poderão poluir tanto quanto um veículo mais velho, mesmo que este veículo velho tenha atendido a um padrão de emissão de gases de escapamento menos restritivo. No entanto, é de se esperar que aqueles veículos que atendam a limites mais restritivos poluam menos, em média (DeCICCO; THOMAS, 1998 apud AZUAGA, 2000).

A seguir serão comentadas de maneira resumida as novas tecnologias automotivas homologadas mais importantes para restrição das emissões de poluentes e gases veiculares:

#### a) Sistemas de Injeção de Combustível

Diante do fato de que as principais emissões de hidrocarbonetos e de monóxido de carbono estão relacionadas à reação de combustão incompleta, as mudanças tecnológicas automotivas caminharam no

sentido do aperfeiçoamento da reação de combustão. Elas atuaram basicamente na otimização da relação ar-combustível, relação esta que fora do valor ótimo resulta na queima incompleta do combustível, gerando emissões de hidrocarbonetos e monóxido de carbono, sendo que basicamente, as abordagens técnicas para aumentar a eficiência do veículo, e dessa forma emitir menos poluentes (DeCICCO e ROSS, 1993 apud AZUAGA, 2000).

O motor é um componente-chave e pode apresentar melhorias que levam a uma maior economia de combustível e diminuição significativa de emissão de gases e poluentes. O aperfeiçoamento tecnológico mais notável em motores foi a troca dos carburadores pelos injetores de combustível, que controlam a alimentação de combustível melhorando a combustão e o correspondente consumo. O sistema eletrônico de injeção de combustível melhora a dosagem de combustível a ser introduzido na câmara de combustão, bem como a dispersão do mesmo no ar que alimenta o motor, de modo que a queima se processe mais próxima das condições ideais, evitando a formação de subprodutos poluentes. Isto é feito por meio da substituição do carburador por válvulas de injeção do combustível, que adequam o volume às necessidades do motor, monitorando por meio de sensores de carga, rotação, temperatura, pressão, etc. (DeCICCO e ROSS, 1993 apud AZUAGA, 2000).

#### b) Catalizador dos Gases de Escapamento (Conversor Catalítico)

O conversor catalítico consiste em um suporte cerâmico, construído por inúmeros microcanais e banhado geralmente por óxido de alumínio, a fim de propiciar uma grande área de contato e uma camada superficial de metal precioso (platina, ródio e paládio são os mais usados) para desempenhar a função catalisadora, instalados no sistema de escapamento próximo ao motor conforme Figura 2.7. Os conversores catalíticos têm como princípio aumentar a velocidade das reações entre o oxigênio (O), os hidrocarbonetos não queimados (HC), o monóxido de carbono (CO) e os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) presentes nos gases de exaustão, onde as moléculas dos mesmos se combinam formando água, dióxido de carbono e nitrogênio. Este aumento de velocidade de reação é obtido pela presença dos metais preciosos, já que, em condições normais, estas reações, se processam lentamente (ABREU, 2003; AZUAGA, 2000).

Os gases de exaustão percorrem cerca de 20 km dentro do catalisador em contato com esses metais, resultando em uma operação normal, que mais de 90% dos componentes químicos maléficos

presentes nos gases da exaustão são transformados em gases não nocivos (DUTRA, 2007).

c) Sensor de Oxigênio (Sonda *Lambda*  $\lambda$ )

Este sensor é instalado antes do catalisador e a melhor maneira de verificar se a mistura está mais rica ou mais pobre é analisar a quantidade de oxigênio que sai pelo escapamento. Mais oxigênio é sinal de pouco combustível (mistura pobre), pouco oxigênio é sinal de muito combustível sendo ou conseguindo ser queimado (mistura rica). Para controlar a razão ar/combustível utiliza-se a sonda *lambda*. Essa sonda é um sensor constituído de um eletrodo em óxido de zircônio que, em contato com o oxigênio dos gases do escapamento, gera um sinal elétrico que varia de 0,25 até 0,95 volts. A partir deste valor obtém-se conhecimento do estado da mistura, que passará por um controle, com a alteração dos tempos de atuação dos bicos injetores (será injetado mais ou menos combustível). Esse sistema de *feedback* é chamado de *closed loop* (circuito fechado ou malha fechada). Com essas correções, *lambda* ficará sempre próxima de 1, garantindo um melhor controle de emissões e impedindo danos ao catalisador. Em resumo, a sonda *lambda* é responsável por um ajuste fino da mistura ar/combustível (A/C), que ao longo da utilização do veículo pode ser alterada devido a condições climáticas e mesmo a diferentes tipos de combustíveis. Eventuais falhas em seu funcionamento são indicadas por uma luz-piloto no painel do veículo e podem também ser verificadas com a análise dos poluentes emitidos (DUTRA, 2007).

A eficiência dos conversores catalíticos depende da relação ar/combustível (A/C), da temperatura de operação e da variedade de hidrocarbonetos presentes no combustível. Para uma eficiente redução de NO é necessária uma mistura rica ou com relação A/C estequiométrica ( $\lambda=1$ ). A fim de se manter de um modo preciso a correta relação A/C nos veículos a gasolina, utiliza-se assim, também um sensor de oxigênio nos gases de escapamento do veículo, o qual fornece continuamente informações a um sistema de controle eletrônico capaz de auto ajustar a relação A/C para as condições ótimas de desempenho do motor e monitoramento da eficiência do catalizador (FAIZ et al., 1996; RIBEIRO, 2001 apud ABREU, 2003).

d) Dispositivo de Recirculação de Gases de Escape do Câster do Motor

Outro tipo de equipamento utilizado no controle de emissões é um dispositivo no motor que permite a recirculação de gases de escape do câster (emissão evaporativa) de até 20 a 30%. Este dispositivo fecha a saída do câster (para a atmosfera), forçando parte dos gases

evaporados do cárter a se dirigirem para o sistema de entrada de ar, a fim de voltarem para os cilindros e serem queimados no próprio motor de acordo com a Figura 2.11. Este dispositivo possui uma válvula de Ventilação Positiva do Cárter (a válvula PCV-Positive Crankcase Ventilation) que evita um aumento de pressão no mesmo, reduz a poluição do ar e os acúmulos de resíduos do motor (PEIRCE et al., 1998; FAIZ et al., 1996 apud ABREU 2003).

e) Recipiente com Carvão Aditivado para Vapores – Cânister

Outro dispositivo dos motores à gasolina é o recipiente com carvão vegetal ativado, também conhecido por cânister, que recebe pequenas e controladas emissões evaporativas do tanque e do carburador para enviá-las condensadas ao motor a fim de serem queimadas. As saídas do tanque de combustível e do carburador (para a atmosfera) são fechadas de modo a forçarem as emissões evaporativas a passarem por um recipiente de carvão vegetal ativado que absorve os vapores de HC indicados também na Figura 2.11. O recipiente de carvão é regenerado quando o ar que vai para o sistema de admissão, passa antes por este recipiente, retirando os HC absorvidos, levando-os para serem queimados nos cilindros do motor (PEIRCE et al., 1998; FAIZ et al., 1996 apud ABREU, 2003).

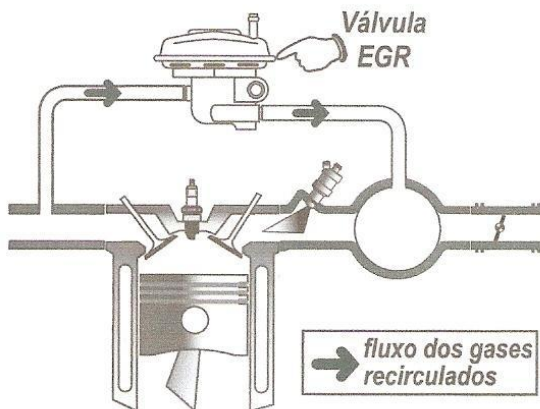
f) Sistemas de Recirculação dos Gases de Escape – EGR

Responsável pelo controle do fluxo de gases produzidos pela combustão da mistura dentro dos cilindros do motor, a válvula EGR (Exhaust Gas Recirculation) ajuda a controlar e reduzir a emissão de poluentes, principalmente os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ). Os  $\text{NO}_x$  são formados quando a temperatura da câmara de combustão atinge níveis mais elevados, seja pelo empobrecimento gradual da mistura, seja por condições de trabalho mais críticas que neste caso, devem ser controlados para se manterem dentro dos limites do PROCONVE.

A fim de reduzir a formação destes óxidos, os gases inertes do escapamento são desviados até o sistema de admissão, através de uma tubulação existente no coletor de escapamento do veículo, de acordo com a Figura 2.12, para que possam ser aspirados e ocupar um espaço dentro da câmara de combustão usualmente destinada a mistura ar/combustível.

Todavia, estes gases inertes do escapamento formados por uma mistura já queimada, portanto não são combustíveis, ao ocuparem um espaço dentro da câmara, irão limitar a queima da mistura ar/combustível, diminuindo consequentemente sua temperatura. Ao reduzir a temperatura, automaticamente será reduzido o nível de formação dos  $\text{NO}_x$  produzidos no motor.

Figura 2.12 - Funcionamento da válvula EGR para recirculação dos gases de escape



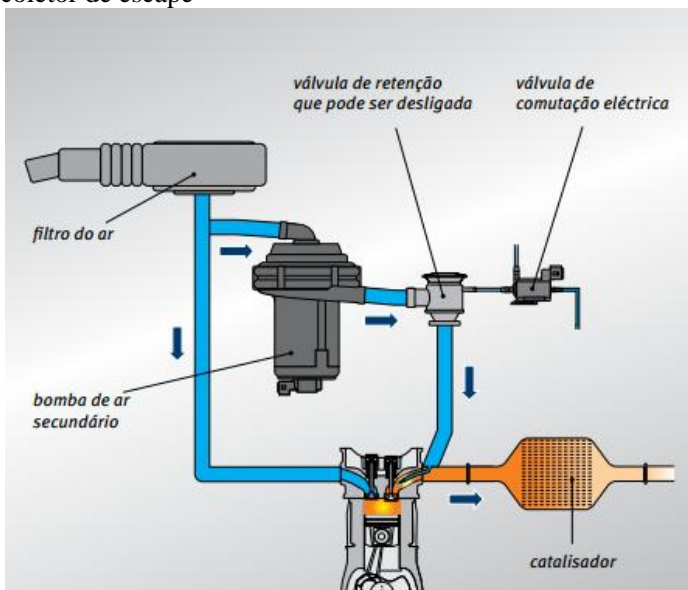
Fonte: Oficina Brasil

#### g) Injeção de Ar Secundário

Com este recurso, conforme Figura 2.13, sistema consiste em injetado ar limpo, de forma controlada, no coletor de escape, o que promove a queima do combustível residual presente nos gases de escape. Nos sistemas atuais, o ar é injetado só na fase de aquecimento, o que promove a queima do excesso de combustível resultante da admissão de mistura rica, característica dessa fase. Isso contribui, também, para que o catalisador atinja a temperatura de trabalho mais rapidamente (MANAVELLA 2013).



Figura 2.13 - Funcionamento da injeção de ar secundário no coletor de escape



Fonte: MS Motor Service International GmbH (2013).

#### h) Sistemas de Diagnóstico de Bordo – OBD

O OBD é um sistema eletrônico composto de sensores e de software que permite a realização de um diagnóstico de falhas e de deterioração de diversos componentes do veículo, visando à manutenção do nível reduzido das emissões veiculares por período mais extenso. Seguindo as tendências na Europa e nos Estados Unidos, a Resolução CONAMA nº 354, de 2004, estabeleceu para todos os veículos leves de passageiros e leves comerciais, equipados com motores do ciclo Otto, a utilização de sistema de OBD, para todos os veículos produzidos ou importados para o mercado interno, a partir de 1º de janeiro de 2011 (MOREIRA, 2004 apud DUTRA 2007). A Resolução prevê a utilização de OBD em duas etapas complementares e consecutivas denominadas: OBDBr-1 e OBDBr-2.

O OBDBr-1, implantado gradativamente a partir de 01/01/2007, possui características mínimas básicas para a avaliação de funcionamento dos sistemas de ignição e de injeção de combustível sinalizados através de uma lâmpada chamada indicadora de mau funcionamento (LIM).

O OBDBr-2, a ser implantado gradativamente a partir de 01/01/2010, complementa o anterior com: detecção de falhas de combustão, deterioração dos sensores de oxigênio (pré e pós catalizador), deterioração da eficiência de conversão do catalisador, da válvula de controle da purga do cânister.

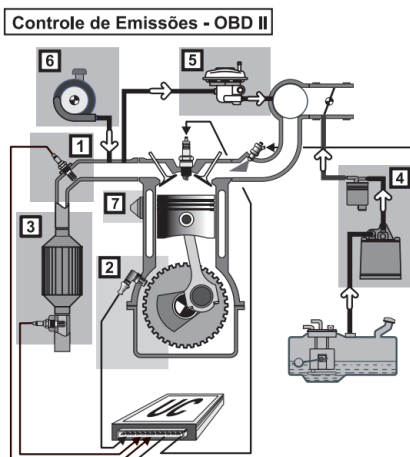
A utilização de OBD e a redução dos limites de emissão de HC, CO e NO<sub>x</sub> para atender as fases do PROCONVE L4 e L5, que entrou em vigor em 2007 e 2009, dificultou o atendimento da legislação por parte das empresas Instaladoras Registradas pelo INMETRO. Além de encarecer os custos de conversão (5ª geração dos kits GNV), esta medida incentiva o aumento da participação no mercado de veículos originais de fábrica, preparados para trabalhar também com GNV. Essa tecnologia tende a apresentar um melhor resultado de emissões, pois contará com a infraestrutura da montadora, e o interesse pelo uso do GNV tenderá a aumentar por confiança dos usuários na garantia e assistência técnica das montadoras (DUTRA, 2007).

Cabe realçar aqui que, no artigo nº4 da Resolução nº 354/04 do CONAMA, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais – IBAMA poderá dispensar o atendimento de alguns requisitos do sistema OBD, para veículos a gás natural, bicomcombustível e multicomcombustível, no caso de projetos específicos, onde o fabricante demonstre a inviabilidade de atendimento, até que novas regras sejam fixadas para estes casos.

Os mecanismos, dispositivos e funções utilizadas para controlar as emissões nos veículos que aderem ao padrão OBD são mostrados na Figura 2.14 a seguir:

Figura 2.14 - Dispositivos eletrônicos e mecânicos de controle da poluição veicular

1. **Controle da mistura em circuito fechado (malha fechada)**  
Utiliza a informação da sonda Lambda instalada antes do catalisador.
2. **Deteção de falhas na combustão.**  
Utiliza o sensor de rotação para detectar oscilações anormais na velocidade angular de rotação do motor, provocadas por falhas de combustão.
3. **Catalisador de 3 vias.**  
Para o seu monitoramento, é utilizada a informação da sonda Lambda posterior.
4. **Controle das emissões evaporativas (EVAP)**
5. **Recirculação dos gases de escape (EGR)**
6. **Injeção de ar secundário (AIR)**
7. **Supervisão da válvula termostática**



Fonte: Oficina Brasil

### 2.3.6 Evolução da Qualidade dos Combustíveis

Existe uma relação direta entre os avanços tecnológicos automotivos, aplicados principalmente em motores, e a qualidade dos combustíveis usados comercialmente. Veículos com dispositivos sistêmicos para o tratamento de poluentes da pós-combustão terão suas estruturas danificadas se utilizarem combustível de baixa qualidade, principalmente com altos teores de enxofre os quais afetarão principalmente o funcionamento dos catalizadores. Assim, é de fundamental importância de se ter uma estratégia em se melhorar conjuntamente a engenharia de motores e a qualidade dos combustíveis.

Este trabalho não tem como princípio detalhar todas as propriedades dos combustíveis em uso no país, mas é importante tecer alguns comentários sobre suas qualidades evolutivas básicas a serem exigidas pelo PROCONVE, cujo objetivo a diminuição gradativa da emissão de poluentes veiculares.

Para que um combustível seja adequado ao uso nos motores, ele precisa atender a especificações, a fim de garantir o desempenho eficiente do motor e evitar emissões veiculares superiores aos padrões regulamentados. No Brasil é a Agencia Nacional do Petróleo - ANP, por meio das Portarias estabelece as especificações dos combustíveis

automotivos destinados ao consumidor final em todo o território nacional, além de especificar os tipos de combustíveis existentes.

a) Gasolina “C”

No Brasil, segundo a ANP, a gasolina pode ser classificada em dois tipos: gasolina tipo A e gasolina tipo C. A gasolina tipo A não contém álcool, ou seja, corresponde à gasolina produzida nas refinarias ou petroquímicas. No Brasil, devido à lei federal, é obrigatória a adição de Álcool Etílico Anidro Combustível – AEAC de 20 a 25% em volume à gasolina A, o que irá depender da disponibilidade de álcool no mercado, gerando-se assim a gasolina C – que é a gasolina vendida nos postos de abastecimento e usada nos automóveis.

A gasolina é um derivado intermediário do petróleo, sendo o combustível mais usado em motores à explosão de ciclo Otto em todo o mundo. Apresenta ainda uma excelente relação entre disponibilidade, facilidade de transporte e armazenamento, conteúdo energético e preço em relação a outros combustíveis como o álcool e o GNV (MENDES, 2004).

Toda a gasolina produzida internacionalmente continha o chumbo e desde a década de 70 já havia um movimento para a sua retirada, devido seu impacto negativo na saúde humana de diversas formas, como, por exemplo, alterações no nível de algumas enzimas, problemas nos rins e efeitos carcinogênicos, entre outros e também pela necessidade da utilização de catalisadores para o controle das emissões de poluentes veiculares. Como um dos países pioneiros nesta empreitada, o Brasil, em 1991, eliminou totalmente o chumbo da gasolina através da adição de 20 a 25% de álcool anidro a gasolina, mas uma adição de 10% já seria suficiente para possibilitar a retirada do chumbo da gasolina (SZWARCFITER, 2004).

O álcool etílico anidro, umas das substâncias adicionadas à gasolina tem vital papel na sua combustão, pois sua função é aumentar a octanagem<sup>4</sup> em virtude de o seu baixo poder calorífico e é também um antidetonante substituto do aditivo a base de chumbo, totalmente retirado do combustível nacional desde 1991. Além disso, a adição de

---

<sup>4</sup> Uma das propriedades mais importantes da gasolina é a octanagem. A octanagem mede a capacidade da gasolina de resistir à detonação, ou sua capacidade de resistir às exigências do motor (alta compressão nos cilindros) sem entrar em combustão espontânea antes do momento programado. A detonação (conhecida como “batina de pino”) leva à perda de potência e pode causar sérios danos ao motor. Existe um índice mínimo permitido de octanagem no Brasil, que varia conforme o seu tipo, mas em geral, o índice de octanagem da gasolina brasileira é de 86, ou seja, comporta-se como uma mistura contendo 86% de isoctano e 14% de heptano.

etanol à gasolina trouxe imediatamente reduções da ordem de 50% na emissão de CO da frota antiga dos veículos.

Conforme comentado por Dutra (2007), aditivos metálicos e compostos de enxofre formam ainda depósitos nas superfícies de componentes vitais dos sistemas de controle de emissão de poluentes, representando fator impeditivo ao uso de componentes importantes como é o caso de conversores catalíticos.

#### b) Diesel

De acordo com Loureiro (2005) diferentemente do motor de ciclo Otto, o motor a diesel promove o início da combustão sem auxílio de uma fonte de energia externa (centelha da vela). Devido à sua alta eficiência, durabilidade e flexibilidade, há uma tendência mundial de utilização crescente destes motores na indústria automobilística, o que reflete num aumento da demanda por diesel em relação aos demais derivados de petróleo. A máquina a diesel é a que alcança os maiores rendimentos (cerca de 45%) comparada com as demais de combustão interna.

O diesel é grande responsável pelas emissões de material particulado e de óxidos de enxofre. Este último pode ser reduzido pela melhoria da qualidade do diesel utilizado. A melhoria do diesel está na diminuição do teor de enxofre (muito maior do que o da gasolina), que depende da origem do petróleo refinado. O petróleo de melhor qualidade é aquele de menor teor de enxofre, que por sua vez tem um valor de mercado mais alto.

#### c) Álcool Combustível

O álcool foi o combustível dos primeiros automóveis, utilizado desde 1903 e misturado à gasolina desde 1931, inicialmente com proporção de 5%, resultando no combustível chamado de *gasool*. O álcool combustível foi muito cedo abandonado, cedendo seu lugar à gasolina, por causa dos custos de produção e transporte, mas nunca deixou de ser uma alternativa tecnologicamente viável como combustível para motores Otto.

O Brasil, grande produtor de cana-de-açúcar e, portanto com grande potencial de produção de álcool, desde há muito emprega o álcool com grande sucesso como combustível. Desde os anos 80, é utilizado na frota rodoviária, incentivado principalmente a partir do Programa Nacional de Álcool – PROALCOOL. Este foi um programa de substituição em larga escala dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por álcool, financiado pelo governo partir de 1975 devido à crise do petróleo em 1973 e depois da crise de 1979.

O Brasil, diferentemente dos demais países, possui em torno de 13% do consumo de energia no transporte rodoviário proveniente de combustíveis renováveis e, segundo a especificação da ANP, estes podem ser de dois tipos: o Álcool Etílico Anidro Combustível – AEAC e o Álcool Etílico Hidratado Combustível – AEHC. O AEHC, que possui até 7,4% de água, foi destinado a substituir totalmente a gasolina em automóveis equipados com motores de combustão interna dedicados a este combustível. Já o AEAC, que poderá conter no máximo 0,7% de água, foi introduzido no mercado como um aditivo à gasolina, para aumentar a sua octanagem e substituir o chumbo tetraetila (MENDES, 2004).

A principal desvantagem em termos de emissões na utilização do etanol como combustível se refere às emissões de aldeídos (acetaldeído e formaldeído), que são formados a partir de reações com parte do combustível não queimado. Contudo, essas emissões podem ser controladas pela utilização tecnológica de conversores catalíticos (FAIZ et al., 1996; ONURSAL et al., 1997; SHER, 1998 apud LOUREIRO 2005).

Ainda existe um ambiente de favorecimento do retorno do PROALCOOL, novamente sendo levado em consideração devido à questão ambiental. Os argumentos utilizados pelos defensores do Programa são principalmente: o benefício ambiental do uso do álcool carburante em relação ao problema das emissões de CO<sub>2</sub> dos combustíveis fósseis e suas consequências sobre o aumento do efeito-estufa (fontes renováveis poderão ser estimulados pelo Protocolo de Quioto, que prevê um aumento de investimentos neste tipo de energia e mecanismos financeiros como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, que permitiria que um país investisse na redução de emissões em outro, contabilizando este abatimento de sua meta de redução), geração de empregos, futuro aumento dos preços do petróleo devido à limitação da quantidade de petróleo no mundo, entre outros.

Segundo Szwarcfiter (2004) a partir de 2002 foi iniciada a comercialização no país de veículos com motores capazes de empregar tanto álcool hidratado quanto gasolina em qualquer proporção, tendo o motorista a flexibilidade na opção do abastecimento do combustível. Esses veículos, que recebem o nome genérico de *flexfuel* (combustível flexível) baseiam-se na adaptação de motores existentes que recebem modificações que permitem o uso de qualquer um dos dois combustíveis.

A tecnologia conhecida como *flexfuel* nasceu de pesquisas realizadas nos Estados Unidos, Europa e Japão no final da década de 80.

Buscava-se uma solução para o problema de falta de infraestrutura de distribuição e abastecimento para o uso de metanol e etanol, que inviabilizava o uso e expansão desses combustíveis. Nos EUA essa tecnologia existe desde 1992 e, aproximadamente, mais de três milhões de veículos circulam com essa tecnologia (SZWARC, 2010).

A conversão consiste no ajuste da taxa de compressão, se necessário, na substituição do chip que contém o mapeamento dos sistemas de injeção e ignição, do uso de algumas peças com tratamento especial contra corrosão pela água presente no álcool (bicos injetores, bombas de combustível, etc.), sensores de oxigênio e catalisadores adequados.

A fabricação dos veículos *flexfuel* cresceu vertiginosamente, conforme dados da ANFAVEA, 2011. Em 2004, foram 13,7% dos automóveis produzidos no país e em maio de 2011 era de 82,7%, alinhado principalmente, pela queda constante do preço do álcool ao longo destes anos. No entanto, essa tendência está atualmente em suspensão porque o governo não tem uma política clara sobre combustíveis, garantindo entre outras coisas, estoques reguladores do álcool combustível, pois hoje o álcool não tem preço competitivo com a gasolina, ou seja, a flexibilidade do consumidor na escolha de combustível é nula e ainda gastando mais gasolina por quilômetro rodado, haja vista motores *flex* possuem uma taxa de compressão intermediária à real dos motores exclusivamente a gasolina.

### **2.3.7 O gás natural veicular – GNV**

Devido ao fato de a emissão de poluentes em veículos a GNV ser o foco deste trabalho, o combustível gás natural será descrito com mais detalhes a seguir.

#### **2.3.7.1 Histórico**

De acordo com Oliveto (2009), o gás natural é utilizado há bastante tempo pela humanidade na busca contínua de outras formas de energia para suprir suas necessidades para a geração de calor. Conforme registros antigos, ele foi descoberto no Irã entre 6000 a 2000 a.C., sendo que na China, foi encontrado desde 900 a.C., mas sua aplicação tecnológica em secar o sal, somente desenvolvida no século X. Na Europa, o gás natural só foi descoberto em 1659, mas despertando pouco interesse devido à iluminação de ruas e casas usarem o gás advindo do carvão carbonizado. Nos Estados Unidos o uso do gás

natural foi somente utilizado no estado de Nova York, a partir do século XX, década de 20, na preparação de alimentos e iluminação. O uso em maior escala do gás natural na Europa começou no final do século XIX, com a utilização de oleodutos mais seguros, em indústrias marcadas pela presença do carvão e óleo e, em uso automotivo teve grande desenvolvimento na Itália, na década de 1950.

O motor de combustão interna, movido com gás natural, apareceu no final do século XIX (1889), na Feira Mundial de Paris, mas o gás natural veicular passou a ser adotado como combustível somente quase um século depois (SZWARCFITER, 2004).

Conforme Mendes (2004) no Brasil, a utilização de gás como combustível começou com a inauguração da Fábrica de Gás de Carvão, em 1854, no Rio, seguida pela criação em 1872 da “The São Paulo Gas Company”. Nesta época, o gás era utilizado para iluminação pública e no uso doméstico. Na primeira metade do século XX começou, então, a grande demanda pelo uso do gás natural, dada as grandes descobertas de reservas e a reconstrução de países arrasados pelas duas guerras mundiais. A partir de 1947, com as descobertas de óleo e gás natural na Bahia, o gás natural passou a ser usado em indústrias locais. As refinarias brasileiras produziam desde a década de 50, o Gás Liquefeito de Petróleo – GLP, que era usado essencialmente como energético doméstico, e, em menor escala como energético industrial e como insumo industrial. O uso de gases como combustível automotivo é antigo. Na época da segunda guerra mundial, devido à escassez de derivados de petróleo, fez com que muitos veículos fossem adaptados para a utilização do gasogênio, gás oriundo da queima parcial do carvão vegetal.

A utilização em escala mundial do gás natural, após a crise econômica global dos anos 70, fez deste combustível uma fonte energética importante para o desenvolvimento das nações. Em 1980 ocorreram grandes descobertas de óleo e gás natural na Bacia de Campos, no Rio de Janeiro. As duas crises mundiais do petróleo na década de 70 impuseram a revisão na política energética brasileira, principalmente em decorrência da nossa grande dependência dos combustíveis derivados do refino do petróleo para o setor de transporte (óleo diesel e gasolina). Dentre as diretrizes tomadas, foi criado, o Plano de Antecipação da Produção de Gás – PLANGAS, desenvolvido pela Comissão Nacional de Energia, objetivando buscar um substituto para o óleo diesel utilizado no transporte rodoviário de cargas e passageiros, principalmente nos grandes centros urbanos, onde também já se tornavam críticos os problemas ambientais decorrentes de poluentes



atmosféricos. Na época, o, gás natural representava apenas 1,8% do consumo energético do país.

Como parte desse plano, surgiram algumas iniciativas no setor automotivo. A Resolução nº 01/88 da Comissão Nacional de Energia – CNE, determinou a aceleração do uso de Gás Natural Comprimido – GNC, em transporte coletivo para a redução do consumo de diesel.

Conforme demonstra Pelliza (2003), a ideia original era utilizar o GNV como substituto do óleo diesel para a propulsão da frota de veículos pesados nos centros urbanos. Esta frota é composta por micro ônibus, ônibus e caminhões de diversas toneladas. Esta ideia deu lugar a uma maior difusão do uso de GNV na frota de veículos leves, em função de algumas dificuldades inerentes ao mercado de GNV como substituto do óleo diesel, tais como:

- Pequena diferença entre o preço do óleo diesel e do GNV;
- Pouca disponibilidade naquela época em território nacional de postos de serviço com capacidade específica de atender à frota.

O Decreto Federal da Presidência da República nº 1787/96 autorizou o uso de Gás Natural em frotas comerciais, em veículos novos ou usados, com motores do ciclo Diesel ou Otto, além de instituir a obrigatoriedade da apresentação do certificado de homologação de conversão, expedido pelo INMETRO, ou entidades por ele credenciadas, para licenciamento junto às autoridades de trânsito.

A perspectiva do uso de GNV no Brasil fica mais clara observando-se o cronograma das fases de utilização deste combustível no cenário nacional (GASNET, 2005):

**Primeira Fase:** de 1980 ao final de 1991

- Início das discussões para utilização do GNV como combustível;
- Criação de comissões governamentais para o estudo da substituição do óleo diesel pelo GNV no transporte de cargas e passageiros;
- Dificuldades iniciais com a pouca disponibilidade do produto e a pequena diferença entre os preços do óleo diesel e do GNV, tornando a conversão de frotas inviável;
- Criou-se o impasse: não se investia em conversão de frotas nem na construção de Postos de Abastecimento.

**Segunda Fase:** de 1992 a meados de 1994

- Liberação do uso de GNV para taxistas e frotas de empresas;

- Inauguração do primeiro Posto de Abastecimento em 1991, Rio de Janeiro em Bonsucesso, para venda de GNV para o público;
- Os volumes de GNV demandados cresceram bastante em função da viabilidade econômica do seu uso em taxis, acarretando falta de produto para abastecimento (filas).

**Terceira Fase:** meados de 1994 ao final de 1996

- O Plano Real propicia uma estabilização do preço dos combustíveis e a sensação para o usuário de que a economia feita pelo uso de GNV diminuíu;
- Concessão de isenção de impostos para os taxistas que optassem pelo uso de GNV, acarretando uma grande renovação da frota de veículos, principalmente em São Paulo;
- As montadoras não mantinham a garantia para veículos novos convertidos para o uso de GNV.

**Quarta Fase:** de 1997 até os dias de hoje:

- Liberação do uso de GNV para veículos particulares;
- Há uma maior percepção por parte dos usuários quanto às vantagens do uso do GNV como substituto da gasolina e do álcool;
- Uma maior conscientização dos benefícios que o GNV traz para o meio ambiente;
- O crescimento do mercado de transportes autônomos e de frotistas alavanca a demanda de GNV;
- Um maior número de Postos de Abastecimento é oferecido ao público.

**Perspectivas futuras, segundo Pelliza (2003):**

- O uso de GNV é uma tendência econômica com menor poluição;
- Espera-se uma pressão dos usuários e a conscientização das montadoras para produção em fábrica de veículos novos movidos a GNV;
- A demanda por GNV deverá crescer consideravelmente;
- Um maior número de Postos de Serviço deverá ser aberto;
- A utilização de GNV para veículos de transporte coletivo de passageiros, já em fase de experimentação, deverá ser viabilizada, principalmente para veículos de pequeno e médio porte;

- Mais Estados da Federação a aderir ao incentivo de cobrar menos IPVA para os veículos GNV.

Conforme Szwarcfiter (2004), devido ao aumento no preço dos combustíveis, o GNV tem encontrado espaço no mercado em virtude de seu baixo custo, principalmente através de conversões feitas em veículos originalmente movidos a gasolina ou álcool (motores de ciclo Otto). Além disso, existem incentivos fiscais em alguns estados para veículos movidos a GNV e financiamento para a instalação dos *kits* de GNV de conversão. A Tabela 2.4 apresenta as alíquotas de IPVA (imposto sobre veículos automotores) para veículos leves nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro considerando diferentes combustíveis. A alíquota incide sobre o valor de mercado do veículo.

Tabela 2.4 - Alíquotas de IPVA para Diferentes Combustíveis no RJ e SP

	São Paulo* (%)	Rio de Janeiro** (%)
Gasolina	4	4
GNV	3	1
Álcool	3	2

\*Fonte: Secretaria de Fazenda do Estado de São Paulo

\*\* Fonte: Secretaria de Estado da Receita do Rio de Janeiro

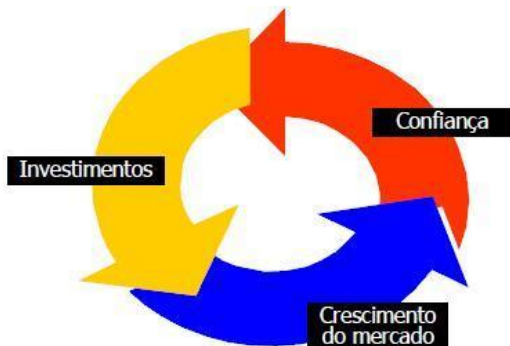
Fonte: Szwarcfiter (2004).

No Rio de Janeiro há ainda uma redução do IPVA de 75% do valor do imposto para veículos movidos a GNV em relação aos de gasolina e os veículos a álcool de 50%. Em São Paulo, idem, só que a redução do IPVA dos veículos movidos a álcool e GNV é de 25% em relação aos veículos a gasolina. Sobre os veículos *flexfuel* (que podem utilizar tanto álcool quanto gasolina) incidem as mesmas alíquotas dos veículos movidos a álcool combustível.

No plano do risco, o desenvolvimento do mercado de GNV está fortemente associado à confiança da sociedade no compromisso do Governo Federal com o aumento da participação do gás natural na matriz energética e na manutenção das regras do jogo, principalmente no que se refere ao preço do combustível. No cenário de crescimento, um círculo virtuoso no mercado de GNV envolve o governo, os fornecedores e os consumidores. Este ciclo abrange investimentos, que gera crescimento de mercado e consequentemente, gera confiança para novos investimentos e assim por diante. Na Figura 2.15 está

representado um esquema do ciclo virtuoso relativo ao crescimento do mercado de GNV (OLIVETO, 2009).

Figura 2.15 - Círculo Virtuoso do Crescimento do Mercado de GNV no Brasil



Fonte: IBP (2005); Oliveto (2009).

### 2.3.7.2 Gás Natural no Cenário Mundial

Segundo Oliveto (2009), os países que adotam o gás natural como combustível automotivo, experimentam uma forma alternativa de energia para a combustão dos veículos, em substituição aos derivados de petróleo. Assim como na região do Mercado Comum do Sul – Mercosul, o crescimento do mercado de GNV nos demais continentes não é diferente. O GNV, assim como em outros países, destaca-se principalmente por dois aspectos: pela disponibilidade do gás natural e pelo interesse do usuário final com relação à economia nos gastos com combustível. Alinhado a esses dois aspectos, o uso desse combustível tem despertado o interesse pelos governos dos países que mais dependem de combustíveis mais econômicos.

A expansão do mercado mundial de GNV se deu a partir do ano 2000. Nesse cenário, o crescimento médio foi 30,2% e nos continentes essa expansão foi maior na Ásia (53,4%), seguida pela América do Sul (25,9%), África (19,3%), Europa (15,4%) e América do Norte (0,4%), segundo dados da IANGV (2008) apud OLIVETO 2009.

De acordo com a Associação Internacional de Veículos a Gás Natural – IANGV (2011), a frota de veículos movidos a GNV, no ano de 2011, totalizou no Brasil 1.694.274, na Argentina 1.900.000 e a frota

total mundial 15.192.844, tendo o Irã a maior frota em GNV, ou seja, 2.859.386 veículos.

### 2.3.7.3 Características Técnicas do GNV

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos gasosos, resultante da decomposição da matéria orgânica fóssil, atualmente encontrado em abundância na natureza, na maior parte das vezes associado ao petróleo, existindo também poços somente de gás (não associado). É composto principalmente por metano (de 78% a 82% em volume), podendo apresentar também outros hidrocarbonetos mais pesados, gás carbônico, nitrogênio, água e outras impurezas (SWARCFITER, 2004).

Pela lei do petróleo, nº 9.478/97, gás natural "é a porção do petróleo que existe na fase gasosa ou em solução no óleo, nas condições originais de reservatório, e que permanece no estado gasoso em Condições Normais de Temperatura e Pressão – CNTP”.

A composição do gás natural pode variar muito de região para região, dependendo de fatores relativos ao reservatório, processo de produção, condicionamento, processamento e transporte. A ANP, através da Resolução nº 16 de 17/06/2008, complementada pelo seu Regulamento Técnico nº 2 de 2008, especifica definitivamente o conceito de gás natural, isto é, “o gás natural deve apresentar concentrações limitadas de componentes potencialmente corrosivos de modo que a segurança e a integridade dos equipamentos sejam preservadas. Esses componentes são sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e água”.

O gás natural tem uma grande diversidade de aplicações industriais: como energético em máquinas industriais (ex. geração de vapor para movimentar turbinas), como insumo da indústria gasoquímica (que como a petroquímica, produz uma ampla gama de produtos químicos industriais, plásticos, tintas e fibras sintéticas, além de fertilizantes e derivados, entre outras aplicações), comercial, residencial (nos fogões, aquecedores de água e, em países de clima frio, nos sistemas de calefação) e veicular. É também utilizado na recuperação secundária de campos petrolíferos, através de sua reinjeção (SZWARCFITER, 2004).

De acordo com GASNET (2005) o GNV (ou GMV, Gás Metano Veicular) é um combustível gasoso cujas propriedades químicas se adaptam bem à substituição dos combustíveis tradicionais para motores que funcionam através da ignição por centelhamento, sejam motores de

quatro tempos (ciclo Otto) ou motores de dois tempos. Estes motores usam em geral a gasolina como combustível, porém no Brasil também são comuns os motores que utilizam álcool hidratado (etanol).

No caso do uso do GNV em motores concebidos para utilizar gasolina ou álcool hidratado, é comum que se opere na forma bicombustível, utilizando preferencialmente o GNV, porém podendo ser usado o combustível original (gasolina ou álcool hidratado). Os veículos que possuem este tipo de adaptação podem ser fabricados desta forma, vindos de fábrica com essa possibilidade de escolha quanto ao combustível a ser utilizado, ou podem ser adaptados em oficinas credenciadas, onde sofrem um processo de conversão e passam a poder contar com a opção de utilizar o GNV como combustível.

O GNV também pode ser usado para propulsão de veículos movidos a óleo diesel (motores de dois ou quatro tempos que possuem ignição por compressão), quer na forma combinada, que utiliza tanto o diesel quanto o gás, ou substituindo o antigo motor movido a diesel por outro movido apenas a gás. Nestes casos, a conversão do veículo é mais complexa e também mais cara, principalmente se houver a necessidade de substituição do motor original ou realização de serviços de retífica.

Em ambos os casos, a conversão se faz adicionando ao veículo um conjunto de equipamentos, a ser detalhado mais adiante, formado basicamente por:

- Conjunto de reservatórios (cilindros) para acondicionar o GNV;
- Rede de tubos de alta e baixa pressão;
- Dispositivo regulador de pressão;
- Válvula de abastecimento;
- Dispositivo de troca de combustível;
- Indicadores de condição do sistema.

A conversão de um motor a álcool hidratado para o GNV é mais eficiente do que a conversão de um motor a gasolina para o GNV, pois o álcool trabalha com taxas de compressão mais próximas do gás natural, melhorando o desempenho do motor (SZWARCFITER, 2004).

O abastecimento dos veículos convertidos para uso de GNV é normalmente feito com o produto a alta pressão, cerca de 220 atmosferas. Os postos de combustíveis recebem o produto através da linha de abastecimento proveniente da concessionária de gás canalizado local, comprimem o GNV em instalações providas de compressores, e disponibilizam o produto para o usuário em *dispensers* similares a bombas de gasolina ou álcool hidratado.

O gás natural tem temperatura de ignição de 650°C, muito acima da temperatura de ignição da gasolina e o álcool (entre 200°C a 300°C), o que o torna mais seguro no seu manuseio. A queima do gás natural, por ser mais completa do que a dos outros combustíveis, reduz as emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, em comparação com a gasolina (MENDES, 2004).

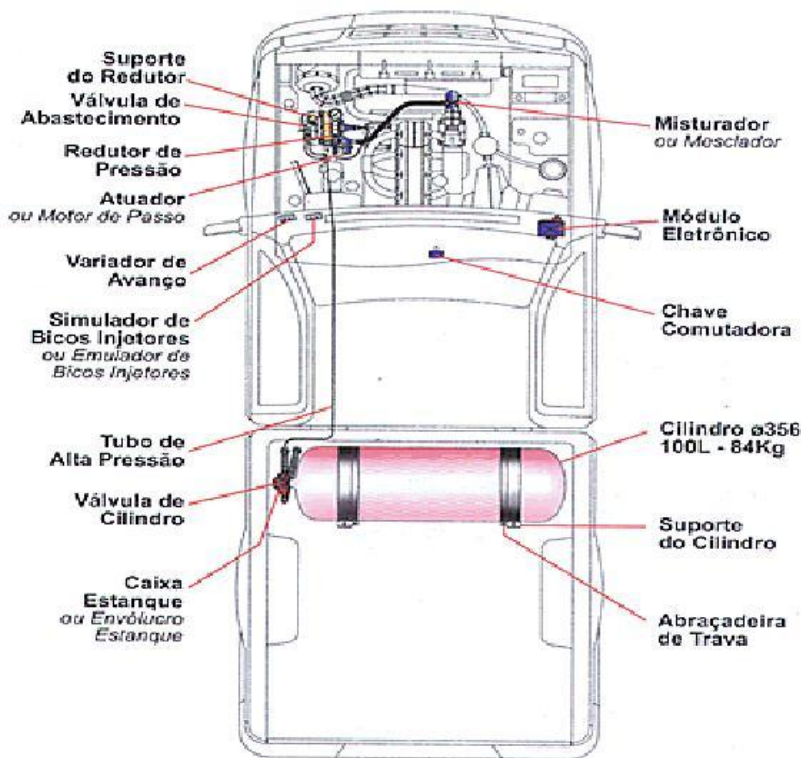
#### 2.3.7.4 Sistemas de Instalação para GNV

De acordo com Oliveto (2009) do ponto de vista técnico, existem duas vertentes tecnológicas que permitem ao veículo a utilização do GNV, conforme descrito a seguir:

- Através de projetos desenvolvidos nas fábricas de veículos, que utilizam componentes específicos, que são integrados aos motores à combustão interna, permitindo a utilização de mais um combustível, além daquele originalmente utilizado nos veículos;
- Após a fabricação do veículo, com a adaptação de componentes do *kit* GNV, conjunto de componentes específicos para a instalação do sistema de para a utilização do GNV, nas Oficinas Instaladoras Registradas pelo INMETRO, segundo regulamentos técnicos específicos, que é o caso da vertente tecnológica mais utilizada atualmente.

A Figura 2.16 representa um esquema de instalação para utilização de GNV.

Figura 2.16 - Adaptação de veículos para GNV



Fonte: Oliveto (2009).

Conforme Loureiro (2005), o GNV é injetado no motor via um sistema de tubulações e válvulas especiais, proporcionando uma queima limpa (esse combustível é constituído por moléculas pequenas e leves, que propiciam uma combustão, praticamente isenta de emissões de material particulado) e eficiente (devido à inexistência na sua composição de hidrocarbonetos pesados e poliaromáticos, que formam depósitos no motor). Além disso, o GNV, quando comparado com os outros combustíveis (gasolina e diesel), é um combustível seco e por isso não dilui o óleo lubrificante no motor do veículo, sua queima não provoca depósito de carbono nas partes internas do motor, o que aumenta o intervalo de troca de óleo e reduz os custos de manutenção, redução na frequência de troca do escapamento do veículo, pois a



queima do gás natural não provoca a formação de compostos de enxofre, diminuindo a corrosão.

Foi publicada em 2001 a Resolução CONAMA nº 291/01, que definiu os critérios para a certificação ambiental através do destes *kits* e institui o Certificado Ambiental para Uso do Gás Natural em Veículos Automotores – CAGN e, no artigo 3º, estabeleceu que as emissões de poluentes dos veículos convertidos devem ser iguais ou menores as dos veículos originais (antes da conversão).

Segundo Oliveto (2009), nos veículos adaptados para a utilização do GNV, a instalação dos componentes necessários ao seu funcionamento é diferenciada de acordo com o sistema de alimentação do combustível. Neste caso, o sistema de controle da mistura ar-combustível deve ser compatível com aquele instalado originalmente no veículo, classificado pela geração do *kit* GNV de instalação.

De acordo com Valiente (2006), a maneira a acompanhar a evolução técnica dos sistemas de injeção de combustível líquido e o aumento das restrições de emissões de gases em veículos automotores, os Sistemas de Conversão (*kits*) para uso de gás natural modificaram as suas características técnicas ao longo do tempo.

Ainda conforme Valiente (2006), em termos comerciais, atualmente os sistemas de conversão do *kit* de GNV, são divididos em cinco gerações, em função evolução das seguintes características técnicas principais, a saber:

**1ª Geração:** sistema de conversão utilizado em veículos com carburação mecânica.

Após a redução da pressão do cilindro por meio de redutor de três estágios, o GNV flui através do misturador e é aspirado por depressão no coletor de admissão do motor. Dois registros mecânicos - um para o funcionamento do motor em marcha lenta e outro para funcionamento do motor em carga - fazem o ajuste da mistura do GNV com o ar de admissão. Devido à ausência de controles eletrônicos e de precisão, os veículos desta geração apresentam elevados índices de emissões de poluentes e de consumo de combustível, além de menor rendimento térmico do motor.

**2ª Geração:** sistema de conversão utilizado em veículos com carburação mecânica ou sistema de injeção eletrônica de combustível – em geral, do tipo monoponto.

Após a redução da pressão do cilindro por meio de um redutor de três estágios, o gás natural flui através do misturador e é aspirado por depressão no coletor de admissão do motor. Em substituição ao registro mecânico para ajuste da mistura utilizado nos sistemas de 1ª Geração,

um motor de passo ou modulador de pressão eletricamente controlado faz o ajuste da mistura de gás natural com ar de admissão. Apesar da maior precisão no controle da quantidade de gás natural injetada no coletor de admissão do motor, os sistemas de conversão da 2ª Geração também apresentam elevados índices de emissões de poluentes e de consumo de combustível, além de menor rendimento térmico, em relação aos sistemas das gerações seguintes.

**3ª Geração:** Sistema de Conversão utilizado exclusivamente em veículos com sistema de injeção eletrônica de combustível e conversor catalítico de gases de escape.

A redução da pressão do cilindro é feita por meio de um redutor de três estágios e com liberação de fluxo de gás acionada eletronicamente. A regulação da vazão de gás natural para o misturador é feita por meio de atuadores e comandada eletronicamente por um processador em malha fechada, em função do sinal emitido pelo sensor de oxigênio – sonda *lambda* – original do veículo. O misturador é o último componente do sistema de conversão que o fluxo de gás natural atravessa, antes de ser aspirado por depressão no coletor de admissão do motor. O variador de avanço do ponto de ignição processa as informações recebidas da ignição eletrônica, reajustando o ponto de ignição durante o consumo de gás natural. Uma válvula elétrica interrompe o fornecimento de gás quando o combustível original é selecionado na chave comutadora, da mesma forma que os sistemas de injeção monoponto também possuem uma válvula elétrica para interromper o fornecimento do combustível original quando o gás natural é selecionado. Os sistemas de injeção multiponto têm essa função realizada através de um emulador das válvulas injetoras – vulgo bicos injetores, que impede que os mesmos injetem combustível e simula um sinal de funcionamento para a ECU – *Electronic Control Unit*. A unidade central de comando eletrônico também é frequentemente denominada módulo de comando da injeção eletrônica.

Devido à maior precisão obtida pelo controle eletrônico de injeção de gás natural, quando comparados com os sistemas de conversão das gerações anteriores, os sistemas da 3ª Geração promovem expressiva redução dos índices de emissões de poluentes e de consumo de combustível, além de redução da perda de rendimento térmico do motor e esta geração tecnológica de *kit* atende a Fase L3 do PROCONVE.

**4ª Geração:** sistema de conversão utilizado exclusivamente em veículos com sistema de injeção eletrônica de combustível e conversor catalítico de gases de escape.

A partir dessa geração de sistemas de conversão, o gás natural deixa de ser aspirado por depressão no coletor de admissão do motor, sendo injetado por meio de sistema de injeção eletrônica – válvula de fluxo contínuo, eliminando a necessidade do misturador de combustível.

As demais características e componentes dos sistemas de conversão da 4ª Geração são semelhantes aos utilizados nos sistemas de conversão da 3ª Geração. A adoção do sistema de injeção eletrônica de fluxo contínuo elimina o misturador e a aspiração por depressão no coletor de admissão do motor e melhora as características da mistura. Dessa maneira, o sistema apresenta redução dos índices de emissões de poluentes e de consumo de combustível, além de aumento de torque e potência do motor em relação à geração anterior.

**5ª Geração:** sistema de conversão utilizado exclusivamente em veículos com sistema de injeção eletrônica de combustível e conversor catalítico de gases de escape.

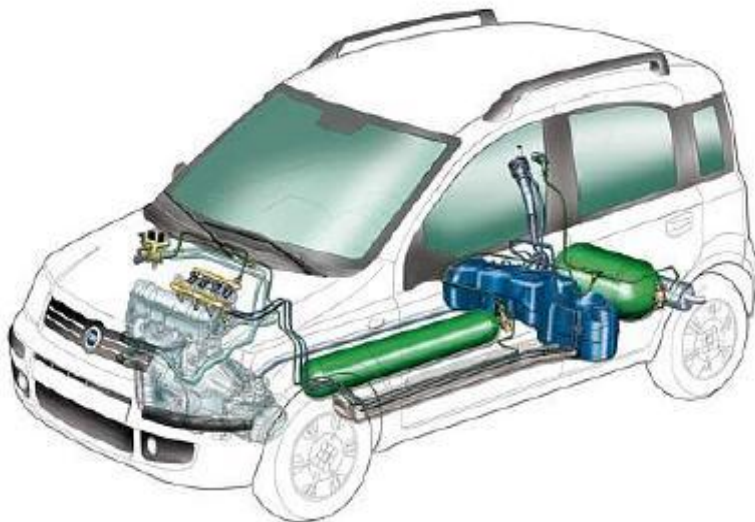
A diferença em relação aos sistemas de conversão das gerações anteriores consiste na injeção de Gás Natural no coletor de admissão do motor, por meio de válvulas com sistema de injeção eletrônica sequencial. A tecnologia garante maior precisão na qualidade da mistura, em relação ao uso de misturador ar-gás natural.

As demais características e principais componentes dos sistemas de conversão 5ª Geração são semelhantes de 4ª Geração. O sistema de injeção eletrônica sequencial é o mais avançado e preciso dos sistemas de conversão em aplicação comercial na atualidade, o que lhe confere as melhores características de rendimento térmico e de emissões de poluentes, quando comparado com as gerações anteriores. Tanto a geração 4 como a 5, atendem a Fase L4 do PROCONVE.

No *kit* de 5ª geração, um único módulo eletrônico controla a injeção do combustível líquido e gasoso, e seleciona preferencialmente o consumo de gás natural. Dessa forma, o sistema dispensa a necessidade de instalação de chave comutadora de combustível no painel do veículo. Em situações de maior demanda de potência do motor, o sistema seleciona automaticamente o combustível líquido disponível no tanque (álcool, gasolina pura ou com adição de álcool) (VALIANTE, 2006).

A Figura 2.17 reproduz um esquema de instalação básico (vista por cima do veículo) para uso do GNV. A figura destaca o cilindro para armazenamento de GNV, que se encontra exposto, uma vez que a instalação em outro local poderia comprometer os demais componentes do veículo.

Figura 2.17 - Esquema de adaptação de veículo para uso de GNV



Fonte: Oliveto (2006).

A seguir é, de acordo com Szwarcfiter (2004), apresentada a relação das peças que fazem parte do *kit* GNV de conversão de veículos ciclo Otto com injeção eletrônica e que são instaladas no veículo, possibilitando que o mesmo utilize tanto o GNV quanto o combustível original de fábrica:

- **Cilindro de alta pressão:** tem a função de armazenar o GNV a uma pressão elevada de 220 bar é um dos mais importantes equipamentos na conversão de veículos para o uso do GNV. Construído segundo os mais rigorosos critérios técnicos, a partir de um tubo de aço-liga cromo-molibdênio, sem costura e de espessura de parede entre 8 a 10 mm. O tubo passa por um processo de repuxamento e conformação das extremidades (base de um lado e gargalo do outro). Depois da conformação mecânica e dois tipos de tratamentos térmicos – chamados de tempera e revenido – todos os cilindros são ensaiados pelo método de partículas magnéticas (Magnaflux) de modo a detectar algum tipo de defeito construtivo como trincas e falhas que possam comprometer sua integridade estrutural (PELLIZA, 2003).
- **Válvula do cilindro:** tem a função de reter o gás no cilindro e controlar sua saída através da conexão com a tubulação de alta

pressão. Contém dois dispositivos de segurança, um que atua quando ocorre excesso de fluxo de gás, o outro que atua quando ocorre excesso de pressão no cilindro.

- **Tubulação de alta pressão:** tubo de aço que promove a ligação do cilindro com a válvula de abastecimento e o redutor de pressão.
- **Válvula de abastecimento:** é uma válvula com múltiplas funções, pois além de permitir a transferência do GNV do *dispenser* (ponto de abastecimento nos postos de combustíveis) para o cilindro, possibilita o corte do gás que segue para o redutor de pressão em caso de emergência ou manutenção, e impede que o gás retorne à sua fonte de abastecimento.
- **Manômetro:** instalado entre a válvula de abastecimento e o redutor de pressão, indica a pressão no cilindro, bem como o nível de gás em seu interior.
- **Redutor:** tem a função de reduzir a pressão contida no cilindro, de um valor de 200bar até a pressão atmosférica. Essa operação é realizada através de três estágios de redução, pela diferença de pressão entre as câmaras do redutor.
- **Misturador (ou mesclador):** o bom funcionamento do veículo depende diretamente da aplicação do misturador correto para cada tipo de motor, evitando perda de potência e consumo excessivo de combustível, menos poluição, mantendo um ótimo regime de funcionamento tanto no GNV quanto no combustível original.
- **Chave comutadora:** comanda o funcionamento do veículo em GNV ou com o combustível original. Pode ser manual ou automática, além de poder ser acionada com o veículo em movimento, alternando os combustíveis.
- **Simulador de bico:** interrompe o funcionamento dos bicos, evitando a entrada de dois combustíveis, e envia o sinal compatível com o sistema original do veículo.
- **Simulador de sonda *lambda*:** simula o funcionamento original da sonda *lambda*, fornecendo o sinal que informa se a mistura ar/combustível está rica ou pobre para o módulo original de injeção.

Entretanto, alguns outros itens (além dos básicos já citados) são fundamentais e atualmente obrigatórios, para a obtenção de um melhor aproveitamento do GNV, aumentando seu rendimento e a economia de combustíveis, e reduzindo as emissões de gases:

- **Variador de avanço:** através do módulo de ignição eletrônica, serve para avançar ou retardar o ponto de ignição da faísca da vela (para dar mais tempo para a queima mais completa do GNV), conforme a carga do motor, evitando a perda de potência/torque, reduzindo o consumo de combustível, além de reduzir as emissões de gases.
- **Módulo eletrônico (ou gerenciador eletrônico):** centralina exclusiva para o GNV com a função principal de enriquecer ou empobrecer a mistura ar/GNV, através das informações geradas pelo sensor de posição da borboleta – *Throttle Position Sensor* (TPS) e o sensor da sonda *lambda*, sempre em busca da mistura estequiométrica.
- **Motor de passo (ou atuador de fluxo):** válvula eletromagnética que regula fisicamente a mistura ar/GNV quando recebe o sinal do módulo eletrônico ou da sonda *lambda*, mantendo o veículo com a mistura ideal, evitando o excesso de consumo, poluição e a evitar a mistura pobre em torque máximo.

Para o *kit* GNV de 5ª geração homologado pelo IBAMA, disposto para funcionar em uma instaladora registrada pelo INMETRO, tendo como componente principal a injeção de gás natural no coletor de admissão, por meio de válvulas com sistema de injeção eletrônica sequencial, tecnologia garantidora de maior precisão na qualidade da mistura estequiométrica, sem uso mais o uso do mesclador ou misturador, as reduções dos poluentes principais são maiores ainda, e, detalhe importante também, com diminuição mínima da potência e do torque do motor original (VALLIENTE, 2005).

No site do IBAMA encontra-se a relação das empresas e seus respectivos *kits* GNV detentores do CAGN (Certificado Ambiental para Uso do Gás Natural em Veículos Automotores) e autorizados pelo IBAMA/PROCONVE para instalação em veículos automotores, conforme é visto abaixo um exemplo da empresa “x”:

Empresa: “x”

Nome do *Kit*: (válido para veículos de 1501cc a 2000cc)

Características: sistema de injeção de gás natural veicular (GNV)

Componentes do *kit*:

1. Redutor de pressão, código 50.000.
2. Unidade eletrônica de controle, código 16.000.
3. Variador de avanço, código 15.910-C.
4. Conjunto motor de passo, código 72.300C.
5. Conjunto venturi / misturador, código M3.400
6. Emulador do sensor de oxigênio, integrado na unidade eletrônica de controle.
7. Emulador / simulador de bico de injeção, código 15.770-4.

Número do CAGN: 001/2003

Como é visto neste CAGN da empresa “x” e nos outros fabricantes certificados, dentre os componentes homologados em destaque no item 5 no qual o mesclador ou misturador é um componente muito importante no quesito da mistura ar gás refletindo assim na emissão dos poluentes destes veículos convertidos para o sistema GNV.

O último CAGN registrado encontrado na página do IBAMA (última atualização observada em junho de 2013) foi dado em 07/04/2006 correspondendo ao número 56.

Conforme destaca o IPT (2007), os outros componentes do sistema de GNV considerados mais importantes quanto à segurança, além do cilindro, são certificados compulsoriamente desde 2002. A certificação compulsória é aquela regulamentada por lei ou portaria de um órgão regulamentador, como por exemplo, o INMETRO. Contrariamente, a certificação voluntária é aquela que não possui qualquer regulamentação de órgão oficial.

Para a instalação desses componentes (reductor de pressão, tubos, suporte do cilindro, válvulas, linha de alta pressão e baixa pressão, sistema de ventilação- invólucros, entre outros) no veículo, o cliente deve estar atento às informações do Atestado de Qualidade, fornecido pelo instalador do *kit* GNV, onde estão listados os componentes adquiridos e seus respectivos códigos de identificação da certificação, de acordo com o site do INMETRO, encontram-se os fabricantes de componentes do sistema GNV acreditados para fornecer os mesmos com total segurança.

Assim como os componentes do sistema para GNV, a inspeção anual de veículos rodoviários automotores com sistema de gás natural

veicular realizada nas ITL, também é um serviço com inspeção compulsória, uma garantia a mais para que o sistema GNV mantenha-se totalmente seguro (INMETRO) e com as emissões dos poluentes controladas (CONAMA) ao longo do tempo de sua utilização.

### 2.3.7.5 Vantagens e Desvantagens do Uso do GNV

Veículos movidos a GNV têm a reputação de serem os transportes mais limpos disponíveis, não apenas no que diz respeito às emissões dos veículos, mas também à produção de combustíveis.

Estudos em todo o mundo mostram consistentemente que a utilização do gás natural em motores produz menos emissões de gases nocivos do que a gasolina, gasóleo ou GLP, apesar das consideráveis melhorias realizadas no controle destes combustíveis nos últimos anos. Mesmo quando comparados com veículos movidos com outros combustíveis como a gasolina e híbridos, as emissões com a utilização de GNV são frequentemente inferiores (IANG, 2008 apud OLIVETO 2009).

Segundo Oliveto (2009) a primeira vantagem econômica é a redução dos gastos com combustível, pois o GNV é mais barato que os outros combustíveis (álcool e gasolina) bem como os incentivos fiscais. Assim, com o mesmo dispêndio de dinheiro, é possível rodar mais com o uso do gás. Essa vantagem não é tão nítida no caso do uso do óleo diesel como combustível substituído.

A segunda vantagem econômica é a redução de gastos de manutenção, pois, como a queima é feita sem resíduos, há o aumento da vida útil de componentes, como velas e filtros. Uma terceira vantagem é que o uso do GNV diminui as chances de furto de combustível e adulteração.

No caso de haver escapamento, o GNV se dissipa rapidamente pela a atmosfera, pois é mais leve que o ar evitando sua concentração. Não é tóxico, nem irritante, e com grau de autoignição (650°C) superior aos dos combustíveis líquidos. Sua instalação nos postos de serviço é de segurança igual ou maior a dos combustíveis líquidos (PELLIZA, 2003).

Pesquisa descrita por Pelliza (2003) demonstra que em veículos com instalações de *kit* GNV compatíveis com o seu nível tecnológico de motorização, o uso de GNV tem importante papel nos níveis de poluição atmosférica, uma vez que a sua combustão com excesso de ar tende a ser completa, liberando apenas o CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O. Acrescente-se a isto o fato de que, por ser um combustível gasoso, possui um sistema de



abastecimento e alimentação do motor isolado da atmosfera, reduzindo bastante as perdas por manipulação para abastecimento e estocagem.

Quanto às emissões de CO, a pesquisa mostra que para o ciclo Otto há redução na concentração de 5% para 1%, e de 5000 ppm de não-queimados para 200 ppm; enquanto para o ciclo Diesel obtém-se concentrações de 0,2% contra os habituais 5% de CO, e 100 ppm de não-queimados em vez de 5000 ppm. Pode-se assim reduzir no ambiente urbano as emissões de CO em 70%, NO<sub>x</sub> em 84% e de hidrocarbonetos pesados (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) em 88% em média, praticamente eliminando as emissões de benzeno e formaldeídos cancerígenos.

De acordo Dallávia (2001 apud PELLIZA, 2003), o GNV estequiométrico, comparado com os outros combustíveis líquidos, possui o menor CO<sub>2</sub> teórico o que significa também, o menor CO na região rica da mistura ar/combustível de funcionamento do motor. Portanto, verifica-se que o GNV tem um excelente potencial para fazer um motor pouco poluente.

O GNV tem apelo social por ser um combustível acessível a classes sociais menos favorecidas. O *boom* de crescimento experimentado pelo GNV em países como Brasil, Índia e Paquistão, caracterizados por grandes populações e desigualdade na distribuição de renda reflete, em alguma medida, o fato desse combustível ser uma alternativa para população de renda inferior. Nesse contexto, o GNV apresenta uma dimensão de inclusão social (IBP, 2005).

Os preços do gás natural se mostram mais estáveis quando comparados com os preços do petróleo. Historicamente, os preços de gás natural têm exibido estabilidade significativa quando comparados com os preços dos combustíveis derivados do petróleo. Esta estabilidade torna fácil planejar custos em longo prazo com maior precisão.

Muitos caminhões em países Europeus, para fretes longos, funcionam com uma forma diferente de gás natural, chamada de Gás Natural Liquefeito ou GNL. O GNL é feito a partir da refrigeração do gás natural a -162°C, condensando-o para a forma líquida. A forma líquida é muito mais densa e tem, portanto, mais energia relativa ao espaço que ocupa. Isso significa que mais energia pode ser acumulada no mesmo espaço de um carro ou caminhão (IANGV, 2013).

Outra vantagem ambiental do GNV está relacionada a seu armazenamento, especialmente nos postos. E caso de vazamentos não contamina o subsolo e consequentemente os lençóis freáticos, assim como os combustíveis líquidos (ABGN, 2004).

O GNV não é uma fonte de perigo para o veículo com muita gente pensa. As normas relacionadas com a conversão são

extremamente rígidas e seus controles são melhores do que aqueles relacionados com a maioria das outras partes do veículo. Os componentes do sistema de conversão são testados exaustivamente pelos fabricantes com a finalidade de assegurar uma confiabilidade elevada (PELLIZA, 2003).

Segundo Oliveto (2009), uma das desvantagens é o custo da adaptação para gás, que faz com que só se justifique a instalação nos casos em que o consumo de combustível é elevado, fazendo com que a diferença de custo entre o GNV e o combustível líquido amortize o investimento inicial. Isso restringe a conversão para veículos que são trocados em intervalos curtos de tempo, antes do uso do gás se tornar vantajoso. Há também um custo inicial de manutenção de componentes afetados pelo peso extra dos cilindros, como pneus e suspensão.

Segundo HSW (2011), uma das maiores queixas sobre os carros movidos a GNV é a redução do espaço para passageiros. A razão disso é o precioso espaço cedido na área de carga e no porta-malas para acomodar os cilindros de combustível. Além disso, esses cilindros podem ter elevado custo de projeto e construção, contribuindo para que os custos globais de fabricação dos veículos a gás natural sejam mais altos do que os dos veículos a gasolina.

Também é apontada como limitação a autonomia dos veículos a GNV, normalmente a metade das que possuem os veículos a gasolina. Por exemplo, o Honda Civic a gás natural (Civic GX) pode andar 350 km sem reabastecer, enquanto o modelo comum a gasolina pode andar cerca de 560 km.

Outra desvantagem é o gasto anual de uma inspeção técnica obrigatória nas ITL e consequente manutenção de segurança veicular imposta, quando do novo emplacamento anual do veículo, que vão verificar através de equipamentos calibrados, os seguintes itens mais importantes: a correta instalação e verificação dos dispositivos do sistema GNV, a segurança do veículo (freios, sistema de direção, suspensão, etc.) e os padrões de emissões dos poluentes do veículo em questão.

Devido à maior taxa de compressão no motor, a utilização do GNV aumenta a possibilidade de surgirem pequenas fissuras nos cabeçotes (tampa) dos motores de ciclo Otto. Recomenda-se manter o motor sempre regulado, utilizar por alguns segundos combustíveis líquidos quando em marcha lenta e seguir as recomendações das empresas de instalação, pois a não utilização eventual do combustível líquido poderá levar ao ressecamento das mangueiras de combustível, as

quais, com o tempo se romperão, provocando a maioria dos incêndios nos motores dos veículos a GNV.

Com relação ao aprimoramento dos projetos e a introdução de novas tecnologias nos veículos leves, as vantagens ambientais da instalação para o GNV dependem de diversos fatores, onde se destaca a compatibilidade entre as tecnologias do veículo e dos dispositivos de instalação do *kit* GNV (ABREU, 2003).

Finalmente, deve-se destacar que o gás natural, assim como a gasolina, é um combustível fóssil que não pode ser considerado como um recurso renovável. Mesmo que as reservas de gás dos Estados Unidos sejam ainda consideráveis, elas não são inesgotáveis. Alguns especialistas estipulam que existem reservas de gás natural suficientes para durar cerca de 65 anos, presumindo-se a continuidade do consumo verificado em 2003.

#### 2.3.7.6 Situação Atual do GNV

De acordo com Mendes (2004), a adaptação de veículos para GNV se expandiu grandemente no país desde 1997. Deve-se lembrar de que não existem dados oficiais encontrados nesta pesquisa sobre as instalações de carros para GNV. A desregulamentação da instalação dos *kits* nos primeiros anos levou a um quadro de total falta de estatísticas, seja pelo lado dos órgãos de trânsito (muitos proprietários não notificam a instalação) seja pelo lado das Instaladoras Registradas pelo INMETRO e/ou fabricantes/importadores de *kits* de instalação.

O mercado de adaptação de veículos para GNV no país ainda está pulverizado, e com a desregulamentação dos anos iniciais, uma infinidade de pequenas oficinas passou a oferecer o serviço de instalação do *kit*, muitas vezes na informalidade, o que impede até o momento a construção de um quadro mais acurado da evolução da frota instalada.

Até o momento, poucos são os veículos fabricados novos movidos a GNV no país (a Fiat com seu veículo *tetrafuel* é a líder comercial deste segmento). As redes autorizadas de algumas montadoras (por exemplo, a Ford) já oferecem veículos novos instalados sob encomenda por empresas terceirizadas (instaladoras registradas pelo INMETRO de excelência), estendendo também assim sua garantia do motor igualmente ao do combustível líquido originalmente de fábrica.

Estes veículos a gás originalmente de fábrica devem também obrigatoriamente realizar uma inspeção anual nas ITL, contados a partir da data do primeiro registro e licenciamento do veículo, conforme determina a Resolução nº 280/08 do CONTRAN, bem como os

fabricantes e importadores destes tipos de veículos, após receberem do DENATRAN o código de marca-modelo-versão, devem fornecer ao INMETRO as especificações técnicas referentes ao sistema GNV instaladas no referido veículo.

Na área ambiental, já citada Resolução nº 291/2001 do CONAMA, regulamenta os conjuntos do *kit* para instalação de veículos para o uso do gás natural. A Resolução, entre outras providências, institui o Certificado Ambiental para Uso do Gás Natural em Veículos Automotores (CAGN), a ser emitido pelo IBAMA para cada modelo de fabricante do conjunto de componentes do *kit* GNV, tipo de motorização e combustível, nominal ao fabricante ou importador e renovado anualmente, inclusive quanto aos limites aceitáveis de emissão.

Dessa forma, os fabricantes ou importadores de *kit* para adaptação de GNV passaram a disponibilizar, para a realização de ensaios por parte de agentes técnicos conveniados do IBAMA, o *kit* de GNV para serem homologados. Além disso, a empresa e o responsável técnico pela instalação do sistema de gás natural são responsáveis pelo desempenho do veículo convertido, conforme o RTQ 33 do INMETRO e pelo cumprimento das exigências previstas na legislação específica dos Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – Programas I/M, previstos na atual Resolução nº 418/2009 do CONAMA, para o qual a Instrução Normativa do IBAMA nº 06 de 2010 define os requisitos técnicos para os testes de avaliação dos veículos.

Mesmo assim, tendo em vista que grande parte dos veículos em circulação passa pelo tratamento de oficinas instaladoras não autorizadas, que podem alterar seus padrões de emissão de gases, essa sistemática enfatiza ainda mais a importância da inspeção dos veículos que sofreram a instalação para o GNV. Outra situação ainda mais crítica é que nem todos os *kits* de GNV estão sendo homologados conforme a Resolução CONAMA nº 291/2001, e mesmo *os kits* homologados são frequentemente modificados para serem vendidos a preços bem mais baixos.

De acordo com Szwarcfiter (2004), existe ainda uma prática de instalação que objetiva somente a economia do usuário, com o descaso total às questões ambientais. Algumas Oficinas Instaladoras Registradas pelo INMETRO oferecem duas opções de instalação do *kit* GNV:

- O primeiro é chamado de “*kit* GNV básico”, que deveria ser chamado de incompleto, pois não é equipado com todos os componentes que deveriam ser instalados para garantir desempenho, economia de combustível e baixa emissão.

- O segundo é chamado de “**kit GNV completo**”, esse sim homologado, que recebe todos os acessórios necessários ao bom funcionamento do sistema, custa mais caro e quase sempre é preterido pelos consumidores.

Como no Brasil grande parte das instalações utilizou o chamado *kit* de GNV incompleto, muitas vezes os veículos poluem mais após a instalação do que com o combustível original. Em outras palavras, o GNV é considerado um combustível mais limpo que os derivados líquidos de petróleo, contanto que seja utilizado de forma eficiente, com instalações e *kit* GNV de boa qualidade, compatível com a tecnologia automotiva do veículo original, caso contrário o combustível perde muito de suas qualidades.

A Tabela 2.5 apresenta o resultado de um estudo realizado pela CETESB, onde está refletida a distorção nas emissões dos veículos após a instalação do *kit* GNV.

Tabela 2.5 - Emissão de Carros Convertidos a GNV

ANO	STATUS		CO	HC	NOx	CO <sub>2</sub>
2002 <sup>*</sup>	Antes conversão	GASOLINA C	1,16	0,13	0,24	200
2002 <sup>*</sup>	Após conversão	GNV	0,80	0,44	0,90	159
		GASOLINA C	3,95	0,24	0,20	199

Fonte: CETESB (2003)

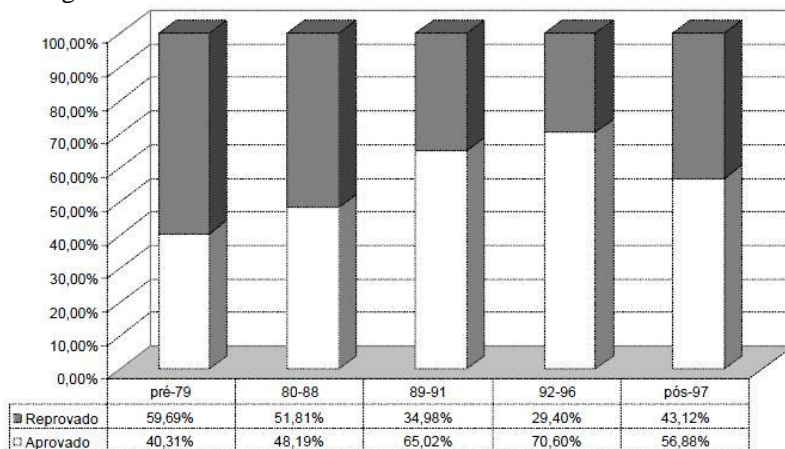
\* Valores típicos de 21 fabricantes de kits para conversão. Após a conversão, apenas 4 fabricantes atendiam aos limites do PROCONVE.

A Tabela 2.5, cujas unidades são dadas em g/km, apresenta as médias dos valores típicos de emissão de 21 fabricantes ou importadores de *kits* de instalação para o uso do GNV. Destes, apenas quatro apresentavam tecnologia capaz de atender aos limites do PROCONVE, os quais eram para 2002 os seguintes:  $CO_{\text{máx}} = 2,0$  g/km,  $HC_{\text{máx}} = 0,30$  g/km,  $NOx_{\text{máx}} = 0,60$ . O  $CO_2$  não possui ainda limites definidos em lei.

A Figura 2.18 a seguir apresenta os índices de aprovação e reprovação nos testes de emissão de veículos movidos a GNV na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, realizados no Programa de Inspeção e Manutenção Veicular dos Veículos em Uso no Estado do Rio de Janeiro, no ano de 2001(MENDES, 2004).

Observa-se que para os veículos novos (pós-97), o percentual de reprovações é consideravelmente elevado, de 43%. Tal fato ocorre devido ao grande número de instalações para GNV realizadas de forma incompleta, minimizando os custos dos *kits* de GNV utilizados, mas que não propiciam uma boa queima do combustível e, conseqüentemente, aumentam as emissões veiculares.

Figura 2.18 - Resultados das vistorias nos veículos GNV



Fonte: Mendes (2004).

Dondero e Goldemberg (apud SZWARCFITER, 2004) realizaram um estudo para avaliar, a partir de testes das emissões de escapamento, a emissão de poluentes após a adaptação para GNV de 21 veículos leves a gasolina. Todos os veículos analisados eram equipados com injeção eletrônica e utilizaram *kit* GNV homologados completos, de última geração, apropriados para a tecnologia dos veículos.

Após a instalação, os veículos apresentaram uma redução média de 53% nas emissões de CO (sendo que em alguns momentos a emissão deste poluente aumentou), de 66% de hidrocarbonetos não-metano – NMHC, e de 20% de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, as emissões de NO<sub>x</sub> aumentaram em 171% e de THC – total de hidrocarbonetos existentes em uma mostra de gás, inclusive o metano – em 162%. No caso específico do THC é importante destacar que em veículos movidos a GNV, aproximadamente 90% dessas emissões correspondem a metano e que, portanto podemos dizer que a emissão de NMHC quando o veículo anda a gás é menor do que a fração não metânica a gasolina, o que

exerce um efeito menor na formação do ozônio do que outros hidrocarbonetos.

O aumento médio das emissões de HC, NO<sub>x</sub> e em alguns casos, CO, para veículos rodando a GNV destaca a falta de calibração e regulagem apropriadas. Evidentemente, se as instalações fossem realizadas com a utilização de *kits* GNV não homologados, resultariam em aumentos ainda mais elevados das emissões desses poluentes.

As Tabelas 2.6 e 2.7, segundo Szwarcfiter (2004), apresentam alguns resultados do estudo envolvendo testes do tipo dinâmicos, em comparação com os valores homologados pela CETESB, seguindo a metodologia FTP 75 descrita na Norma ABNT NBR6601.

Tabela 2.6 - Resultado de Emissões da Kombi com Diversos Combustíveis

	Média testes de Kombis - gasolina	Média testes de Kombis - GNV	Kombis – homologação*	PROCONVE
CO (g/km)	2,6	1,1	0,6	2
HC (g/km)	0,4	1,4	0,2	0,3
NOx (g/km)	0,6	1,3	0,1	0,6

Fonte: Dondero e Goldemberg (2004)

\*CETESB

Tabela 2.7 - Resultado de Emissões da Quantum com Diversos Combustíveis

	Média testes de Quantum - gasolina	Média testes de Quantum - GNV	Quantum – homologação*	PROCONVE
CO (g/km)	4,36	1,73	0,6	2
HC (g/km)	0,3	0,5	0,2	0,3
NOx (g/km)	0,1	0,7	0,1	0,6

Fonte: Dondero e Goldemberg (2004)

\*CETESB

Segundo Oliveto (2009), basicamente existem dois cenários de evolução das tecnologias automotivas que poderão impactar o mercado de GNV:

- Contempla a tecnologia OBD, para os veículos a gasolina e álcool;

- Contempla o fornecimento de veículos com *kit* GNV originais da montadora, portanto mais sofisticados (mesmo patamar tecnológico em poluição e potencia do veículo original), pois são certificados pelos fabricantes chamados de *Original Equipment Manufacturer* – OEM.

Segundo Villanueva, apud Valiante (2006), “o veículo a gás com equipamento original do fabricante é aquele veículo que foi projetado, produzido e certificado através de um equipamento original do fabricante (OEM) para operar com um determinado tipo de combustível, no caso, veículo dedicado para operar com Gás Natural”.

Na inspeção veicular do futuro, com a tecnologia OBD implantada, poderá ser feita, por parte do órgão fiscalizador, uma leitura do módulo eletrônico do veículo para verificação do código de erro existente. Através da informação ao usuário da falha ocorrida, é esperado que o veículo, após receber manutenção adequada, retorne aos níveis de emissões existentes antes da falha (MELO et al., 2004 apud OLIVETO, 2009).

## 2.4 MEDIÇÃO DAS EMISSÕES VEICULARES

A medição das emissões de escapamento é utilizada para a certificação de veículos novos e na verificação das conformidades técnicas dos veículos submetidos aos Programas de I/M, ambos de acordo com padrões de emissões estabelecidos no PROCONVE.

Os métodos normalmente utilizados para a medição dos poluentes emitidos são:

- Testes em Laboratórios (podendo ser Estático ou Dinâmico);
- Medição em Veículos a Bordo ou Instrumentados;
- Sensoriamento Remoto.

### 2.4.1 Testes em Laboratórios

A técnica mais utilizada para a medição das emissões de poluentes é o teste dos veículos em laboratórios credenciados. Este tipo de teste fornece resultados com maior controle das condições do ambiente. Os testes em laboratório são padronizados por órgãos reguladores e podem ser dinâmicos, onde há carregamento no motor através de ciclos de condução em dinamômetros de chassi ou em ensaios



do tipo estáticos, sem carregamento do motor (FAIZ et al., 1996; WENZEL et al, 2000 apud HANSEN, 2008).

a) Teste Estático sem Carga

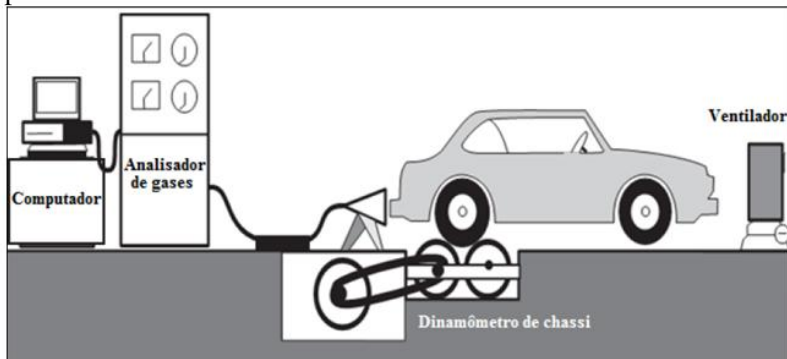
No teste estático, medem-se as concentrações de poluentes emitidos pelo cano de descarga do veículo estacionado em ponto morto. O teste foi proposto, inicialmente pelo *Clean Air Act*, Estados Unidos e no Brasil foi adotado pelo CONAMA, devido ao seu baixo custo e rapidez do ensaio, para se identificar os veículos com padrões irregulares de emissão. Uma variante deste ensaio, consiste em testar o veículo em ponto morto e aumentar a rotação do seu motor até 2500 rpm. O objetivo da alteração na rotação é simular as condições de operação do veículo em condições de carregamento. O teste estático é muito empregado em programas I/M, e é também o teste utilizado nas ITL para análise dos gases e poluentes nos veículos GNV (BRASIL, 2004 apud HANSEN, 2008).

b) Teste Dinâmico com Carga

O veículo é disposto em um dinamômetro de chassi, que simula as forças de inércia e atrito que o veículo enfrentaria em uma via comum. O veículo é conduzido por um condutor ou por dispositivos eletromecânicos, seguindo o mais próximo possível das velocidades especificadas por um ciclo de condução estabelecido.

As emissões podem ser medidas de duas formas durante o teste com o dinamômetro de chassi: total gerado durante todo o teste ou de forma contínua, geralmente, segundo a segundo. A quantificação do combustível evaporado, proveniente de respiros e conexões do sistema de alimentação de combustível, é realizada em uma câmara hermeticamente fechada. A concentração de HC é medida em duas condições: simulação do aquecimento do veículo pelo sol e aquecimento do veículo por sua utilização real (MENDES, 2004 apud HANSEN, 2008). A Figura 2.19 ilustra o funcionamento das medições de emissões em dinamômetro de chassi.

Figura 2.19 - Ensaio de dinamômetro de chassi para medição de poluentes



Fonte: Faiz et al. (1996 apud HANSEN, 2008).

Segundo Valiante (2006), as montadoras realizam o teste dinâmico em seus laboratórios nos veículos com o sistema de conversão instalado, de acordo com os padrões e procedimentos detalhados segundo a norma NBR 6601 e NBR 7024, apresentando resultados obtidos, desvio, média e comparação com os limites máximos de emissão de poluentes relativos à Fase L4 do PROCONVE.

#### 2.4.2 Medições em Veículos a Bordo ou Instrumentados

Segundo Dutra (2007), as peças e sistemas dos componentes eletromecânicos de regulação e monitoramento dos motores veiculares, se desgastam com o tempo de uso, tendo como consequência, problemas no funcionamento dos sistemas de controle de emissão, resultando assim em um aumento dos níveis de emissão de poluentes atmosféricos.

Para tentar dirimir estes problemas, foi publicada a Resolução CONAMA nº 354/2004, a qual dispõe sobre os requisitos para adoção de Sistemas de Diagnóstico de Bordo OBD para os veículos automotores leves objetivando preservar a funcionalidade dos sistemas de controle de emissão. A instalação completa desses sistemas é obrigatória desde 1º de janeiro de 2011 em todos os veículos leves nacionais ou importados, constituem tecnologias de ação comprovada na identificação de mau funcionamento dos sistemas de controle de emissão possibilitando a antecipação de medidas corretivas e a consequente prevenção no aumento da emissão de poluentes atmosféricos.

As medições a bordo realizadas nos veículos leves em operação nas vias permitem a coleta simultânea de velocidade, aceleração e emissões de veículos a cada segundo em condições reais de operação. As medições são realizadas a partir da coleta dos gases do escapamento e analisadas por um dispositivo portátil nos veículos. Não é necessário modificar o veículo para a instalação do equipamento (ROUPHAL et al, 2000 apud HANSEN, 2008).

As medições a bordo realizadas nos veículos em operação nas vias são conduzidas em um ambiente de condições não controladas, apresentando variabilidade em seus resultados. A grande vantagem das medições a bordo do veículo é a representação das emissões em condições realísticas, eliminando a possível falta de representatividade dos ciclos de condução utilizados nos ensaios com dinamômetros de chassi (FREY e UNAL, 2002 apud HANSEN, 2008). O ciclo de condução, ou ciclo de operação, é um perfil de velocidade em função do tempo que busca simular as condições médias de tráfego real em uma determinada localidade, padronizado pelos órgãos oficiais de transporte de todo mundo.

### **2.4.3 Sensoriamento Remoto**

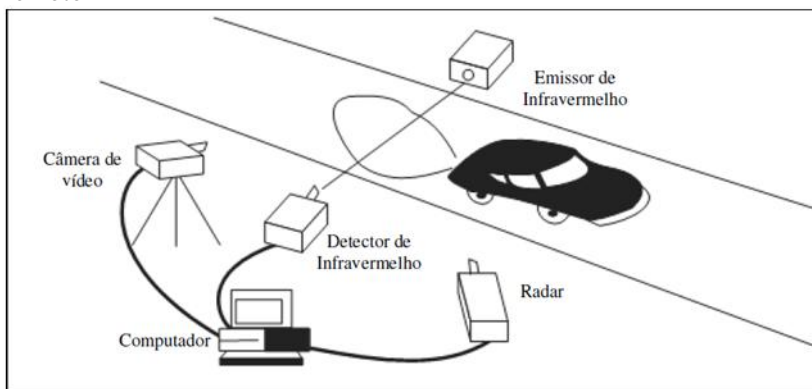
No caso do Sensoriamento Remoto (SR), os veículos são averiguados enquanto estão passando por pontos específicos das ruas onde os equipamentos são instalados. É um sistema que pode obter dados de emissão e velocidade do veículo, mas não outras informações, como, por exemplo, a quilometragem acumulada do veículo. O SR deve ser visto como complementar ao programa de I/M, e não como substituto. Uma forma de complementação seria a identificação de veículos que emitem um nível alto de emissões, que seriam então encaminhados (com a fotografia da placa dos veículos) para a inspeção e, se necessário for, manutenção dos mesmos em um programa de I/M (SZWARCFITER, 2004).

O Sensoriamento Remoto consiste em medir os gases emitidos pela descarga dos veículos a partir de sensores remotos fixos ou móveis, os quais emitem raios infravermelhos ou ultravioletas e medem as modificações na intensidade do feixe de luz apontado para a via. A modificação da intensidade da luz é provocada pela pluma de exaustão do automóvel. Junto com o sensor acopla-se uma câmara de vídeo para identificação da placa do veículo e, através do acesso aos registros de licenciamento, determina-se a idade, o tipo e eventualmente a quilometragem do veículo. A velocidade e a aceleração do veículo

podem ser registradas simultaneamente com a imagem da placa do mesmo, tornando possível a identificação dos veículos e determinando as condições nas quais a mensuração das emissões foi efetivada. Estes sensores podem medir CO, HC, CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> (YU, 1998; FREY e UNAL, 2002 apud HANSEN, 2008). Quando o veículo se posiciona ao longo do feixe infravermelho, o detector realiza dezenas de medições dos gases do escapamento em menos de um segundo. Quanto mais luz infravermelha a descarga de um veículo absorve, mais poluidor ele é (LISBOA, 2007).

A Figura 2.20 ilustra o funcionamento do sensoriamento remoto na medição de poluentes por veículos automotores.

Figura 2.20 - Obtenção de emissões veiculares através de sensoriamento remoto



Fonte: Faiz et al. (apud HANSEN, 2008).

Este tipo de medição tem como vantagem a possibilidade de medir as emissões de um grande número de veículos em um único dia, com um custo muito inferior aos outros procedimentos de medição, não havendo necessidade de conectar o aparelho ao veículo que se pretende avaliar. Ainda, fornecem dados reais de emissões de campo.

Segundo Gwilliam et al. (2003 apud SZWARCFITER, 2004), sistemas existentes de SR podem medir mais de 4.000 automóveis por hora em uma base contínua, provendo potencialmente um instrumento importante para a caracterização de emissões da frota circulante. O SR tem sido usado como um componente de programas de inspeção e manutenção nos EUA para identificar veículos altamente poluidores e

solicitar que sejam reparados e para identificar veículos limpos para que sejam dispensados dos programas I/M.

O Sensoriamento Remoto serve também para fornecer dados sobre as emissões médias da frota ou as emissões típicas de um determinado tipo de veículo. Este método ainda auxilia na identificação de veículos com altos níveis de emissão para, assim, serem convocados para nova inspeção, ou seja, comparar as emissões de poluição no período pré-inspeção com os resultados após o início da fiscalização para verificar os avanços nos programas I/M. O equipamento móvel passa, numa van, por diferentes pontos das regiões mais críticas em termos de poluição urbana (FAIZ et al., 1996; WENZEL et al., 2000 apud HANSEN, 2008).

Um levantamento realizado por sensoriamento remoto em São Paulo, em junho de 2000, mostrou que poucos veículos são responsáveis por grande parcela da poluição. Cerca de 20% deles responderam por 50% da emissão total de CO da frota. O monitoramento por esse método de observação permite identificar os veículos mais poluidores para exigir-lhes a manutenção e uma inspeção detalhada, concentrando esforços nos mais poluidores. O levantamento indica a tendência de que a inspeção anual dos veículos em uso poderá recuperar uma boa parte dos prejuízos provocados pela manutenção inadequada desses veículos.

A desvantagem do SR é a medição das emissões de cada veículo em uma fração de segundo apenas. Como as emissões deste veículo podem variar consideravelmente daquelas obtidas pela medição através do Sensoriamento Remoto, a medição pode não representar indicadores confiáveis (HANSEN, 2008).

Estudos realizados pela Agência Americana de Proteção Ambiental – EPA e pela *California Air Resources Board* concluíram que o SR identifica erroneamente alguns veículos como poluidores. Isto ocorre porque há uma variabilidade nos modos de operação. Este erro pode ser amenizado quando o veículo é submetido várias vezes ao SR (LISBOA, 2007).

Segundo Lisboa (2007), há equipamentos mais sofisticados baseados em medições a laser que monitora poluição do ar (LIDAR - *Light Detection and Ranging*), utilizados especificamente no monitoramento de gases próximos a fontes emissoras e para medidas de concentração vertical na atmosfera. Sistemas LIDAR estão baseados em uma luminária de *flash* bombeador laser de safira e titânio. Permite, quase que simultaneamente, medidas espaciais resolvidas de ozônio como também os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e NO<sub>2</sub>, que são

conhecidos como “precursores” importantes na formação de Ozônio de troposfera e o aquecimento global, conforme Figura 2.21.

Figura 2.21 – LIDAR



Fonte: Lisboa (2007).

## 2.5 CONTROLE DA POLUIÇÃO VEICULAR

### 2.5.1 Redução das Emissões Veiculares

O aumento da exposição da população ao ar poluído, comprovado pelas violações dos padrões de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), é uma das componentes da vida urbana que merece destaque especial (WHO/UNEP, 1992 apud ABREU, 2003).

Conforme comenta Abreu (2003) observa-se a necessidade urgente de implantação de medidas de controle e redução de emissões veiculares a fim de minimizar os custos produzidos pelos efeitos da poluição no meio-ambiente e na saúde da população.

Existem diferentes formas de atuar na redução das emissões veiculares e de seus impactos em cada fase do ciclo de poluição:

a) **Atuação na dispersão dos poluentes na atmosfera:** em relação à dispersão dos poluentes na atmosfera, as ações devem ser voltadas para as regiões críticas que apresentam pontos que dificultam o processo de transporte e difusão dos poluentes. São estes pontos:

- Tipos de construção e obstáculos que margeiam as vias (que devem deixar as mesmas o mais livre possível);
- Distância da fonte de emissão ao receptor (que deve ser a maior possível);
- Porosidade das edificações e a rugosidade das superfícies (que devem ser a menor possível);
- Condições topográficas (regiões de vale tendem a concentrar mais os poluentes);
- Condições climáticas (a falta de ventos dificulta a dispersão).

Tais ações devem ser voltadas à aplicação de mecanismos de remoção dos poluentes do ar e mecanismos de facilitação da dispersão destes poluentes de modo a reduzir o impacto das emissões nestas regiões, devendo também ser acompanhadas de um monitoramento da qualidade do ar a fim de controlar a eficiência destas ações.

b) **Atuação nos receptores dos poluentes:** as ações para reduzir o impacto das emissões nos receptores dos poluentes devem ser baseadas na redução do tempo de exposição dos seres vivos e dos materiais expostos a estes poluentes.

c) **Atuação nas fontes emissoras dos poluentes:** é o caso típico deste trabalho, onde nos veículos rodoviários, as reduções de emissões podem ser alcançadas por meio de ações tecnológicas e ações institucionais (pautadas no planejamento de transportes e urbano e na engenharia de tráfego dentre outros).

Dentre as ações tecnológicas tem-se:

- Desenvolvimento de equipamentos de controle de emissões (engenharia de controle) a serem utilizados nos veículos;
- Melhoria da qualidade dos combustíveis;
- Utilização de combustíveis alternativos como o álcool e o gás natural;
- Implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em circulação.

As ações institucionais abrangem:

- Taxação dos combustíveis dentro de uma política de preços para os mesmos;

- Restrição da circulação dos veículos;
- Políticas de incentivo a modos de transporte mais eficientes;
- Reescalonamento de horários de trabalho, etc.

## 2.5.2 Experiência Mundial no Controle da Poluição Veicular

O problema da poluição atmosfera veicular em áreas urbanas levou os países industrializados a estabelecer uma legislação destinada a controlar estas emissões. As primeiras provas científicas de que as poluições veiculares provocavam efeitos negativos sobre o bem estar e a saúde da população, foi desenvolvida na Califórnia, Estados Unidos da América (EUA), na década de 50.

A abundância de automóveis e de luz solar neste estado americano deu origem a sérios problemas ambientais, assim como resultado dessa constatação, em 1961 foi promulgada, a primeira legislação no mundo destinada especialmente a controlar a emissão de poluentes atmosféricos produzidos por veículos. Essa legislação, implementada a partir de 1963, estabeleceu a obrigatoriedade de instalação nos veículos comercializados na Califórnia de sistemas de controle para os hidrocarbonetos (HC) gerados no cárter do motor. Em 1966, a Califórnia manteve o seu pioneirismo regulamentando os primeiros limites de emissão de gases de escapamento.

Em 1970, com a publicação do *Clean Air Act* (ou Lei do Ar Limpo), os EUA passaram a dispor de uma ampla legislação federal sobre o assunto, que veio equacionar as necessidades de diversos Estados norte-americanos que, como a Califórnia, também apresentava crescimento rápido da frota de veículos e degradação da qualidade do ar (LIMA, 2001).

Atualmente, estão sendo feitos esforços para obter uma harmonização dos padrões de emissão em todo o mundo. Esta harmonização pode reduzir os custos de conformidade evitando a duplicação de esforços. O desenvolvimento de uma nova configuração de controle de emissões, custa ao fabricante dezenas de milhões de dólares por veículo modelo, e leva de dez a cinco anos para ser implantada.

Ao eliminar-se a necessidade de se desenvolver configurações de controle de emissões em separado, para diferentes países, a harmonização dos padrões de emissão pode economizar bilhões de dólares em custos de desenvolvimento. Tal harmonização poderá ainda facilitar a troca de experiências internacionais, particularmente entre os



países industrializados e os em desenvolvimento, em relação ao desenvolvimento dos padrões de emissão e a implantação de atividades que obriguem a adequação aos padrões (ABREU, 2003).

### **2.5.3 Experiência Brasileira no Controle da Poluição Veicular**

A Constituição Federal Brasileira estabelece como obrigações dos poderes públicos a proteção do meio ambiente e o combate à poluição em qualquer de suas formas, conforme seus artigos 23 e artigo 225 (ABREU, 2003).

O Brasil foi o primeiro país a adotar uma legislação destinada a reduzir as emissões veiculares na América do Sul, segundo LIMA (2002).

Em 1973, foi criada em São Paulo, a Secretaria Especial de Meio Ambiente – SEMA, elegendo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, como braço técnico e operacional e sua representante nas negociações com a indústria automobilística.

De acordo com Szwarcfiter (2004), em 1976, o CONTRAN estabeleceu por meio da Resolução nº 507, o controle das emissões de gases e vapores do cárter. Neste mesmo ano, o Governo do Estado de São Paulo promulgou a Lei nº 997 que estabeleceu o padrão nº 2 da Escala de Ringelmann<sup>5</sup> como limite de emissão de fumaça emitida por veículos diesel em circulação.

Em 1977, por meio da Resolução nº 510 do CONTRAN, a Escala de Ringelmann foi adotada em todo o território nacional para o controle da fumaça emitida pelos motores diesel.

Ainda em 1977, iniciaram as primeiras discussões sobre a necessidade da implantação de um programa de controle de emissões veiculares com especialistas americanos através da CETESB, pois a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) já apresentava índices preocupantes de poluição (MENDES, 2004).

Em 1978, a Volkswagen do Brasil inaugurou o primeiro laboratório brasileiro destinado à medição das emissões de veículos leves. Neste mesmo ano, a CETESB adquiriu os equipamentos para a instalação do seu laboratório, que entrou em operação em 1980 (SZWARCFITER, 2004).

---

<sup>5</sup> A Escala de Ringelmann consiste em uma escala gráfica para avaliação colorimétrica de densidade de fumaça, constituída de seis padrões com variações uniformes de tonalidade entre o branco e o preto. Os padrões são apresentados por meio de quadros retangulares, com redes de linhas de espessura e espaçamentos definidos, sobre um fundo branco.

Em 1981, foi elaborada a Norma NBR 6601 – Análise dos Gases de Escapamento de Veículos Rodoviários Automotores Leves a Gasolina, que pode ser considerada a principal base técnica para o estabelecimento dos requisitos de controle para os automóveis e veículos comerciais leves, equipados com motor do ciclo Otto (LIMA, 2001).

Em 1981, o Governo Federal, por intermédio da SEMA de São Paulo, criou a Política Nacional do Meio Ambiente, pela qual foi criado o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). Neste mesmo ano foi criado, também, o CONAMA, que passou a ter o poder de “estabelecer, privativamente, normas e padrões nacionais de controle de poluição por veículos automotores, aeronaves e embarcações, mediante audiência dos Ministérios competentes” (SZWARCFITER, 2004).

As negociações do Governo com as montadoras e a Petrobras para a criação de um programa de controle de emissões são lentas. Ambas utilizavam os mesmos argumentos utilizados nos anos 60 e 70 nos EUA e em outros países, para justificar as suas dificuldades no atendimento de exigências legais. Tais argumentos baseavam-se na questão da prioridade do crescimento econômico e aversão a qualquer medida que pudesse desacelerar esse processo, como a implantação de restrições de emissão aos veículos novos (LIMA, 2001).

Em 1984, a CETESB promoveu curso sobre controle da poluição veicular, priorizou a avaliação dos dados de qualidade do ar disponíveis e a prestação de assessoria na elaboração de uma proposta que fosse eficaz e, ao mesmo tempo, considerada viável pelo setor industrial (LIMA, 2001).

Com base nesse trabalho, ficou evidente que a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), apresentava níveis de poluição do ar bastante sérios, que já afetavam a saúde e o bem estar da população e resultavam em prejuízos econômicos importantes. Indicou, também, que o assunto não deveria ser visto apenas pela ótica industrial e tecnológica, mas também e especialmente, pela saúde pública.

Na análise de características de outras importantes regiões metropolitanas (Rio de Janeiro e Belo Horizonte), foram encontrados indícios significativos de que os problemas existentes em São Paulo também poderiam estar ocorrendo nessas regiões. Essas conclusões foram amplamente divulgadas pela mídia e sensibilizaram outras áreas governamentais, que passaram a defender o estabelecimento de medidas efetivas de combate à poluição atmosférica (LIMA, 2001).

O Governo Federal constituiu, então, um Grupo de Trabalho (GT), para apreciação prévia da proposta formada por SEMA, CETESB,

Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA, o Conselho Nacional do Petróleo – CNP e a Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes – GEIPOT. Alterações introduzidas no texto original por esse grupo tiveram como resultado a aceitação do programa pela ANFAVEA e por setores governamentais, mas segundo as estimativas da época, resultariam em um atraso de aproximadamente três anos no atendimento das metas previstas para a redução das emissões (MENDES, 2004).

Finalmente, em 1985, o Governo de São Paulo, por meio da CETESB, submeteu à apreciação do CONAMA, por intermédio da SEMA, uma proposta para a criação de um programa de controle de emissões veiculares para veículos novos. Essa proposta foi fundamentada naquilo que se apresentava como o pior caso no Brasil, ou seja, na necessidade de se reduzir os valores máximos das concentrações de poluentes registrados na atmosfera da RMSP (MENDES, 2004).

Essa proposta foi aprovada por meio da Resolução do CONAMA nº 18/1986, instituindo-se então o PROCONVE, e também o Programa Nacional de Certificação de Conformidade de Veículos Automotores: Emissões – PROVEM13, que foi submetido à apreciação do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – CONMETRO, e aprovado pela Resolução nº 01/1987 (MENDES, 2004).

A estrutura do PROCONVE definiu uma estratégia na qual a SEMA é responsável pela coordenação e execução do PROCONVE, tendo como o seu braço técnico e operacional, a CETESB. No que tange ao PROVEM, com o objetivo principal estabelecer métodos de ensaio e de procedimentos de certificação de conformidade com os limites de emissão estabelecidos, a responsabilidade foi atribuída ao INMETRO (MENDES, 2004).

Outros aspectos importantes a serem abaixo comentados historicamente, após a criação do PROCONVE, conforme LIMA (2001), foi que, nesta época, percebeu-se ser de significativa importância a criação de um programa nacional que contemplasse também as fontes fixas de poluição atmosférica. Tendo em vista que a maioria dos estados não dispunha de padrões locais de emissão de fontes, observou-se a necessidade da fixação de dispositivos de caráter normativo e do estabelecimento de ações de monitoramento atmosférico.

Por meio da Resolução do CONAMA nº 05/89, foi criado o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar – PRONAR, com o

intuito de promover a orientação e controle da poluição atmosférica no país, envolvendo estratégias de cunho normativo, como o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar e de emissão na fonte, a execução de uma política de prevenção de deterioração da qualidade do ar, a implementação da rede nacional de monitoramento do ar e o desenvolvimento de inventários de fontes e poluentes atmosféricos prioritários.

De acordo com Mendes (2004), a estratégia básica do PRONAR é de estabelecer limites nacionais para as emissões, por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle. Para que isso fosse implementado, foram definidas metas de curto, médio e longo prazo para que fosse dada prioridade à alocação de recursos e fossem direcionadas as ações.

Em 1989, foi criado pela Lei nº 7.735 o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais – IBAMA. Este órgão foi formado a partir da fusão de quatro entidades brasileiras que trabalhavam na área ambiental: SEMA (Secretaria Especial do Meio Ambiente), a SUDHEVEA (Superintendência do Desenvolvimento da Borracha), SUDEPE (Superintendência do Desenvolvimento da Pesca) e o IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal). O IBAMA, posteriormente, passaria a desempenhar um papel fundamental no controle das emissões veiculares – o de gerenciamento nacional do PROCONVE (MENDES 2004).

Em 16 de outubro de 1992, foi criado o Ministério de Meio Ambiente – MMA, órgão de hierarquia superior, com o objetivo de estruturar a política de meio ambiente do Brasil.

Ainda segundo Mendes (2004), a complementação das exigências legais e a evolução do PROCONVE foram garantidas por novas Resoluções do CONAMA, CONMETRO, CNP, DNC (Departamento Nacional de Combustíveis), que substituiu o extinto CNP e que hoje foi substituído pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) e por Portarias do IBAMA.

## 2.6 PROGRAMA DE CONTROLE DE POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES – PROCONVE

Baseado na experiência dos países desenvolvidos, o PROCONVE fixa os limites máximos de emissão de poluentes, fundamentado em tecnologias industriais automotivas já existentes, um cronograma específico para três categorias distintas de veículos automotores, a saber:

Veículo Leve de Passageiros (automóveis); Veículo Leve Comercial (picapes, vans, utilitários, etc.) e Veículo Pesado (caminhões e ônibus).

O PROCONVE impõe ainda a certificação de protótipos e linhas de produção, a autorização especial do órgão ambiental federal para uso de combustíveis alternativos, o recolhimento e preparo dos veículos ou motores encontrados em desacordo com o projeto, e proíbe a comercialização dos modelos de veículos não homologados segundo seus critérios.

### **2.6.1 Aspectos Técnicos do PROCONVE**

No início do PROCONVE, as vendas de veículos leves eram lideradas pelos modelos a álcool e nos anos 90 passaram a ser liderado pelos veículos a gasolina (gasolina com 22% de álcool). Esse quadro representou um grande desafio para as montadoras, especialmente sob o ponto de vista técnico, pois exigiu esforço de pesquisa e desenvolvimento de soluções tecnológicas para ambas as versões (MENDES, 2004).

Além disso, com a liberação das importações de veículos em 1991, houve também a necessidade de adaptação a uma nova situação, em que veículos originalmente desenvolvidos para combustíveis com características diferentes dos nacionais precisavam ter seus sistemas de alimentação de combustível e motores recalibrados, num processo que ficou conhecido como “tropicalização”.

A criação do MERCOSUL foi outro acontecimento importante que pôs o PROCONVE à prova, pois a Argentina questionou duramente as exigências brasileiras, considerando-as por demais rigorosas, numa tentativa de ganhar maior competitividade no mercado brasileiro para os veículos argentinos, de tecnologia ultrapassada.

Considerado um dos programas federais mais efetivos na regulamentação do setor automotivo (segundo o site AUTODATA, 2011), o PROCONVE comemorou vinte e cinco anos de existência em 2011. Ao longo destas duas décadas metas foram estabelecidas e cumpridas quase que em silêncio. Comprovaram que governo e indústria podem trabalhar conjuntamente em favor da sociedade, desenvolvendo tecnologia, garantindo saúde, bem-estar e empregos.

O PROCONVE estabeleceu cronogramas viáveis divididos em cinco fases, coordenadas pelo IBAMA, com o apoio dos processos de homologação a cargo da CETESB. Desta forma, vários objetivos do programa foram, além de atingidos, superados. Os números chegam a ser impressionantes: desde seu nascimento até 2011, o PROCONVE

conseguiu reduzir em mais de 90% as emissões atmosféricas danosas emitidas por automóveis e comerciais leves e em 80% no caso dos caminhões e ônibus.

Uma das medidas mais significativas do PROCONVE foi a eliminação do chumbo tetraetila da gasolina, o que ocorreu em 1989. O Brasil tornou-se o primeiro país do mundo a fazê-lo e, simultaneamente, a utilizar o álcool anidro como aditivo oxigenado em 100% da gasolina consumida.

Outros países, como os Estados Unidos, partiram para o Éter metil-terciário butílico MTBE – obtido do metanol, outro aditivo que elimina este tipo de tóxico, mas estão sendo obrigados a substituí-lo paulatinamente também pelo álcool, ou etanol, por razões ambientais de contaminação do subsolo. Dentre outras vantagens, o combustível vegetal melhorou o poder antidetonante da gasolina e deu oportunidade à engenharia brasileira de projetar motores mais potentes e limpos. A ausência de chumbo permitiu, ainda, antecipar o uso de catalisadores já a partir de 1992.

Outro aspecto interessante: o PROCONVE teve o mérito de não direcionar a indústria automotiva para uma solução técnica específica. A exemplo dos programas americano, europeu e japonês, tratou apenas de determinar limites máximos e decrescentes de emissões ao longo do tempo, o que significou liberdade para pesquisa e manteve os custos sob controle. Bom exemplo é que antes de 1º de janeiro de 1997, data então estabelecida, todos os fabricantes concluíram a migração do carburador para a injeção eletrônica multiponto de ciclo fechado.

Há várias formas de contabilizar os bons resultados para o meio ambiente, em especial na Grande São Paulo – região onde veículos são responsáveis por cerca de 80% das emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e de enxofre, partículas inaláveis, ozônio e aldeídos. A capital paulista tornou-se o melhor exemplo de êxito pelas reduções dramáticas alcançadas, em particular de monóxido de carbono, mesmo com a frota dobrando de tamanho no mesmo período.

Para o médico Paulo Saldiva, pesquisador do laboratório experimental de poluição atmosférica da Faculdade de Medicina da USP, foi graças ao PROCONVE que a expectativa de vida na região aumentou em treze anos e, por outro lado, caiu o número de internações hospitalares por problemas respiratórios.

Por seus cálculos, o programa economiza US\$170 milhões por ano em custos médicos, transformando-se assim em uma das principais ações de saúde pública do País. No entanto, Saldiva pede maior atenção

a substâncias como óxidos de nitrogênio e partículas inaláveis, cujos maiores emissores são os motores diesel.

Apesar dos progressos, o programa ainda enfrenta, naturalmente, seus problemas e desafios. Destaques na emissão de poluentes por parte de motores a diesel desregulados, especialmente os mais antigos, e o potencial do gás natural veicular, como inibidor de poluição, estar sendo prejudicado por equipamentos de baixa qualidade.

É importante realçar a importância da entrada em funcionamento da inspeção veicular ambiental em todo o país, regulamentada pela atual resolução 418/09 do CONAMA como única e definitiva maneira de garantir manutenção plena das grandes conquistas obtidas pelo PROCONVE.

Segundo CETESB (1985) apud Mendes (2004), um aspecto importante a ser considerado na avaliação dos resultados do PROCONVE é o crescimento da frota. Tomando a RMSP como referência, a frota total circulante de veículos leves a álcool e gasolina registrada era, em 1985, de 2.247.940 unidades. Nessa época a frota de veículos a diesel (leves e pesados) era de 153.000 unidades. Em 1999, segundo a Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo – PRODESP (2000) apud MENDES (2004), a frota de veículos leves passou para 5.506.997 unidades, representando um aumento de aproximadamente 145% em 14 anos e uma taxa média de crescimento líquido (incorporação de veículos novos menos a retirada de veículos sucateados) de 6,6% ao ano. No caso dos veículos a diesel, a frota cresceu para 396.842 unidades (leves e pesados), o que representa um aumento de 160% no período e uma taxa de crescimento líquido de 7% ao ano.

Outra questão a ser considerada é que o segmento de veículos leves a álcool e gasolina, seguindo a estratégia delineada na elaboração do PROCONVE, deveriam atingir limites bastante severos em prazos relativamente curtos, o que de fato ocorreu em 1997, quando passaram a ser atendidos os limites de emissão em vigor nos EUA desde o princípio de 1994. Quanto aos veículos a diesel, a estratégia de controle foi menos agressiva, o que resultou em 2002 no atendimento pleno dos limites de emissão equivalentes aos em vigor na Comunidade Europeia que existia em 2000 (Euro II).

Segundo estudo realizado por Branco e Branco (2006) apud Mendes (2004), os efeitos do PROCONVE estão fortemente presentes na frota circulante. A evolução dos produtos da indústria automobilística brasileira é transformada em benefícios para a atmosfera à medida que a

frota se renova e, mesmo sem a fiscalização da manutenção, 60 a 80% dos veículos em uso ainda apresentam emissões sob controle.

## **2.6.2 As Fases de Implantação do PROCONVE**

O periódico IBAMA/PROCONVE de 2011 afirma que o aumento da motorização individual é decorrente da deficiência crônica dos sistemas de transporte coletivo adequado, e tem intensificado ainda mais o tráfego nos grandes centros urbanos. Além de causar congestionamentos constantes, com a consequente degradação ambiental, devido à poluição do ar e sonora provocada pelos veículos automotores, o crescimento do número de veículos eleva os custos socioeconômicos e provocam sérios danos à saúde humana, devendo ser adotadas medidas eficazes de controle da poluição veicular, direta ou indiretamente, as quais são descritas no PROCONVE.

Conforme a Resolução nº 15/1995 do CONAMA, veículo leve de passageiros é o veículo automotor com massa do veículo em ordem de marcha de até 2.720 kg e com massa total máxima de 3.856 kg, projetado para o transporte de até 12 passageiros, ou seus derivados para o transporte de carga.

O controle de emissão desses veículos foi escalonado nas seguintes fases L de implantação do PROCONVE, segundo o site ANFAVEA, 2012:

### **Fase L-1: implantação gradativa, de 1988 a 1991;**

Esta fase foi caracterizada pela eliminação dos modelos mais poluentes e aprimoramento dos projetos dos modelos já em produção. Iniciou-se também nesta fase o controle das emissões evaporativas (cumprida). As principais inovações tecnológicas que ocorreram nesta fase foram: reciclagem dos gases de escapamento para controle das emissões de NO<sub>x</sub>; injeção secundária do ar no coletor de exaustão para o controle de CO e HC; implantação de amortecedor da borboleta do carburador para controle do HC e a otimização do avanço da ignição.

### **Fase L-2: implantação de 1992 a 1996;**

Conforme a Resolução CONAMA nº 18/86, nessa fase investiu-se na adequação de catalisadores e sistemas de injeção eletrônica para uso com mistura de etanol, em proporção única no mundo. As principais inovações nos veículos foram a injeção eletrônica, os carburadores assistidos eletronicamente e os conversores catalíticos. Em 1994 iniciou-se o controle de ruído dos veículos.



**Fase L-3:** implantação de 1997 a 2004;

Em face da exigência de atender aos limites estabelecidos a partir de 1º de janeiro de 1997 (Resolução CONAMA nº 15/1995), ocorreram reduções bastante significativas em relação aos limites anteriores, e o fabricante/importador empregou, conjuntamente, as melhores tecnologias disponíveis para a formação de mistura e controle eletrônico do motor como, por exemplo, o sensor de oxigênio, denominado "sonda *lambda*" (cumprida).

**Fases L-4:** implantação de 2005 a 2008;

Tendo como referência a Resolução CONAMA nº 315/2002, a prioridade nesta fase que teve início no ano de 2005 é a redução das emissões de HC e NO<sub>x</sub>, (substâncias precursores de ozônio). Para o atendimento desta fase, se deu o desenvolvimento de motores com novas tecnologias como a otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos de injeção, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica.

**Fase L-5:** implantação de 2009 a 2013;

Com os limites de emissão da Resolução CONAMA nº 315/2002, da mesma forma que na fase L-4, a prioridade na fase L-5 é a redução das emissões de HC e NO. De maneira análoga à fase L-4, as inovações tecnológicas se deram na otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos, o aumento da pressão da bomba injetora e a injeção eletrônica. Nesta fase deu-se a redução de 31% das emissões de hidrocarbonetos não metano para os veículos leves do ciclo Otto e de 48% e 42% para as emissões de NO<sub>x</sub> para os veículos leves do ciclo Otto e Diesel, respectivamente. Além disso, as emissões de aldeídos (RCHO)<sup>6</sup> foram reduzidas em, aproximadamente, 67% para os veículos do ciclo Otto.

Os veículos leves devem ser alvo de controle mais severo de emissão de NO<sub>x</sub>, especialmente em regime de aceleração e de alta velocidade, o que obrigará a adoção de ciclos de condução especiais para estas condições. Nas futuras fases do PROCONVE os limites de NO<sub>x</sub> deverão se basear nos padrões norte-americanos para que os níveis de ozônio se reduzam. Os teores de enxofre nos combustíveis deverão ser reduzidos a 10 ppm para viabilizar as melhores tecnologias de catalisadores pois o enxofre bloqueia parte das colmeias dos

---

<sup>6</sup> Total Aldeídos, Acetaldeídos-CH<sub>3</sub>CHO e Formaldeídos - HCHO

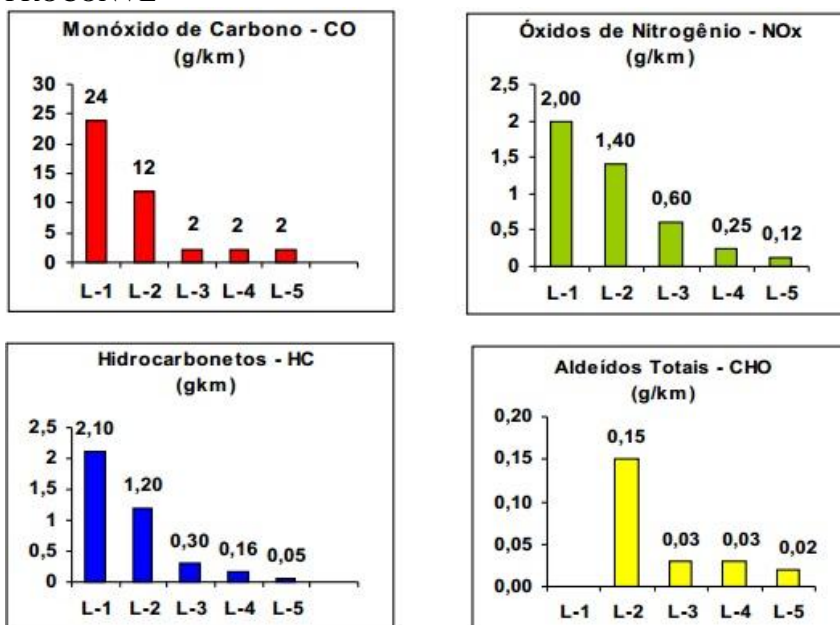
catalizadores, os quais precisam reagir mais rápido com os gases de escape. Neste contexto, o álcool, o gás natural e o biodiesel puro poderão desempenhar papel importante como combustíveis obrigatórios para introdução de tecnologias de ponta nas frotas cativas metropolitanas, enquanto não for possível melhorar a qualidade da gasolina e do diesel.

**Fase L-6:** implantação para 2014 a 2015.

Em 2009, o CONAMA, ao aprovar a Resolução nº 415/09, introduziu a Fase - L6 que entrará em vigor em 2013. A Fase L6 estabelece novos limites máximos para a emissão de escapamento de veículos automotores leves novos de passageiros de massa menor ou igual a 1.700 Kg e veículos leves comerciais com massa superior a 1.700 Kg. Ambas as categorias são para uso rodoviário, e contemplam tanto veículos do ciclo Otto quanto Diesel. Para o futuro ainda está prevista a introdução de catalisadores de oxidação, de filtro de particulados e de recirculação de gases (IBAMA, 2012).

No que diz respeito aos limites de emissão para veículos leves, os gráficos da Figura 2.22 sintetizam sua evolução, em cada fase do PROCONVE.

Figura 2.22 - Limites de emissão para veículos leves, para cada fase do PROCONVE



Fonte: ANFAVEA (2009).

A Tabela 2.8 apresenta os limites de emissão dos diversos poluentes, para cada fase do PROCONVE.

Tabela 2.8 - Limites Máximos de Emissão de Poluentes, para cada Fase do PROCONVE.

Fase	Resolução CONAMA	Período	CO (g/km)	HC (g/km)	NMHC (g/km)	NOx (g/km)	HCO <sup>3</sup> (g/km)	MP <sup>2</sup> (g/km)	EVAP. <sup>3</sup> (g/teste)	CO-ML <sup>1</sup> (% vol)
L1	18/86	1989-1991	24,00	2,10	n.a.	2,0	n.a.	n.a.	6,0	3,0
L2	18/86	1992 - 1996	12,00	1,20	n.a.	1,4	0,15	n.a.	6,0	2,5
L3	15/95	1997-2004	2,00	0,30	n.a.	0,6	0,03	0,05	6,0	0,5
	315/02	mai/2003							2,0	
L4		2005 (40%)	2,00	0,30 <sup>4</sup>	0,16	0,25 <sup>1</sup>	0,03	0,05	2,0	0,5
	315/02	2006 (70%)				ou				
		2007(100%)				0,60 <sup>2</sup>				
L5 <sup>1</sup>	315/02	2009 - 2013	2,00	0,30 <sup>4</sup>	0,05	0,12 <sup>1</sup> ou 0,25 <sup>2</sup>	0,02	0,05	2,0	0,5
	415/09	2012 <sup>3</sup>							1,5/2,0 <sup>5</sup>	
L6	415/09	2013 <sup>2</sup>	1,30	n.a.	0,05	0,08	n.a.	0,025	n.a.	n.a.
		2014 <sup>6</sup>		0,30 <sup>4</sup>			0,02	n.a.	1,5/2,0 <sup>5</sup>	0,2
		2015								

1 - Para veículos do ciclo Otto

2 - Apenas para veículos do ciclo diesel

3 - Apenas para veículos do ciclo Otto, exceto a GNV

4 - Apenas para veículos a GNV

5 - Limites de 2,0 caso procedimento câmara de volume variável

6 - Apenas para os novos lançamentos de veículos do ciclo Otto

n.a. = não se aplica

Fonte: CETESB (2011).

De acordo com Dutra (2007), os conversores catalíticos ou catalisadores apresentam alta eficiência na redução das emissões de escapamento e que os mesmos sofrem desgastes ou são danificados ao longo da sua vida útil. Os Programas I/M demandam a substituição de grande quantidade dos mesmos, onde a Resolução nº 282/01 do CONAMA, estabelece os requisitos para os conversores catalíticos destinados a reposição nos veículos automotores leves.

Na visão de Dutra (2007), os programas de I/M, com o objetivo de aferir a regulação dos veículos e obter dos proprietários os necessários cuidados de manutenção, precisam ter seus procedimentos atualizados, adequando-os às novas tecnologias de controle de emissão introduzidas nos últimos anos, como diagnóstico de bordo (OBD) e sensoriamento remoto.

Um programa de ecorotulagem de modelos de veículos, em função de seu desempenho energético e de emissões de poluentes, complementaria favoravelmente essa iniciativa, conscientizando a população para a escolha dos veículos mais limpos. Este programa atualmente é voluntário para as montadoras, mas a partir de 2015 será obrigatória incluindo dados de emissão de CO<sub>2</sub> dos carros e consumo de combustível (AUTODIÁRIO, 2012).

Conforme o Manual do PROCONVE/IBAMA, 2011, o 1º Inventário Nacional de Emissões de Veículos Automotores Rodoviários, publicado pelo IBAMA e por parceiros setoriais em 2011, permitiu a atualização de informações e o diagnóstico da redução de emissões atmosféricas no país, bem como a identificação dos resultados e dos novos desafios do PROCONVE/PROMOT. Além da perspectiva de expansão do controle de poluentes atmosféricos para a frota em circulação em cada região desse país e da disponibilização de informação ao consumidor para uma escolha responsável frente ao desafio das mudanças climáticas, o PROCONVE se coloca permanentemente como protagonista no incentivo ao desenvolvimento tecnológico dos fabricantes automotivos na adequação a combustíveis mais limpos.

Os resultados positivos alcançados até agora, mostram que a estratégia para implantação do PROCONVE foi vitoriosa. O êxito do programa deve-se ao seu cronograma com etapas cada vez mais restritivas, e, sempre em sintonia com a realidade brasileira. Os resultados mais expressivos alcançados pelo PROCONVE são:

1. A modernização do parque industrial automotivo brasileiro;
2. A adoção, atualização e desenvolvimento de novas tecnologias;
3. A melhoria da qualidade dos combustíveis automotivos;
4. A formação de mão de obra técnica altamente especializada;
5. O aporte no Brasil de novos investimentos, de novas indústrias e de laboratórios de emissão;
6. Geração de empregos;
7. Diversificação do parque industrial;
8. A redução na fonte (veículo) em até 98% da emissão de poluentes.

Antes do programa, a emissão média de monóxido de carbono de um veículo era de 54 g/km, hoje essa emissão é 1,3 g/km. Mesmo com o significativo aumento da frota brasileira de veículos automotores, esses resultados fizeram com que se tivessem condições de exercer um melhor

controle sobre a poluição atmosférica, garantindo a qualidade do ar nas grandes cidades brasileiras.

## 2.7 PROGRAMAS DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO DE VEÍCULOS EM USO - I/M

### 2.7.1 Características Gerais do I/M

Os programas de inspeção e manutenção para controle das emissões em carros em uso são um complemento essencial para padrões de emissão em novos veículos. Apesar das dificuldades de execução, uma inspeção efetiva e um programa de manutenção podem reduzir significativamente as emissões dos veículos não controlados (Loureiro, 2005).

Esses programas são necessários para assegurar que os benefícios das tecnologias de controle nos veículos novos não estão sendo perdidas, pela manutenção insatisfatória e as adulterações nos controles de emissão. Tais programas para veículos a gasolina comumente incluem medidas das concentrações de HC, CO, CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> emitidas.

A falta de uma aceitação cultural de uma manutenção veicular regular e, especialmente, preventiva é um dos principais contribuintes para a poluição atmosférica gerada pelas fontes móveis de emissão (SZWARCFITER, 2004).

Ainda que com o sistema de homologação se garanta que os veículos saiam da fábrica com as condições estabelecidas pela normativa vigente, é preciso verificar se essas se mantêm ao longo de sua vida útil. Como ocorre com qualquer outra máquina, o uso do veículo ocasiona uma degradação contínua de suas características técnicas além de possíveis adulterações dos sistemas de controle de emissões. Após a aquisição do veículo, sua manutenção é de responsabilidade do proprietário. Desta forma, a implantação de programas de I/M encoraja a manutenção correta dos veículos e desestimula a adulteração dos dispositivos de controle de emissões, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e para a economia de combustível (LOUREIRO, 2005).

Em outras palavras, esses programas objetivam manter as emissões aprovadas no licenciamento do veículo, dentro dos padrões ambientais estabelecidos. Esses programas foram implantados em diversos países, inicialmente com o objetivo de aumentar a segurança veicular (inspeção de segurança), mas posteriormente objetivando

também reduzir as emissões de poluentes. Esses programas podem ser complementados por programas de renovação acelerada da frota, visto que quando os veículos forem reprovados nos testes de emissão nos programas de I/M e que seu valor de mercado for menor do que o custo de reparo requerido pelo programa, muitos indivíduos possivelmente preferirão participar de um programa de renovação acelerada da frota, no qual poderiam receber um incentivo financeiro possibilitando a substituição do seu veículo (SZWARCFITER, 2004).

Em um típico programa de I/M, os motoristas precisam periodicamente levar seus veículos sujeitos a regulamentação a um posto de inspeção, onde um ou mais testes são realizados nos sistemas de controle de emissões dos veículos. Aos veículos que são reprovados na inspeção é requerido que sejam reparados e reinspecionados. Na maioria dos programas é exigido que os veículos passem por inspeção válida por um ou dois anos. Depois disso, os proprietários precisam retornar aos postos de inspeção para a renovação (HARRINGTON et al., 2000 apud LOUREIRO, 2005).

A inspeção de emissões veiculares consiste de diversas partes. O teste que é na maior parte das vezes realizado é o teste das emissões de escapamento dos veículos, mas programas de I/M podem também incluir exames dos sistemas de controle das emissões evaporativas, assim como inspeções visuais para verificação de adulteração dos sistemas de controle de emissões. As emissões evaporativas se referem às emissões de hidrocarbonetos resultantes da evaporação de combustível não queimado do tanque de combustível e durante a operação do motor. Ao contrário das emissões de escapamento, as emissões evaporativas podem ocorrer quando o veículo não está em operação (SZWARCFITER (2004).

Há dois tipos principais de programas de I/M: programas centralizados, em que todas as inspeções são feitas em instalações de teste, operadas pelo governo ou por empresas privadas competitivamente selecionadas; e programas descentralizados, em que ambos os testes de emissões e reparos são feitos em garagens privadas. Programas descentralizados são geralmente menos eficazes, devido fraudes e inspeções inadequadas. Programas centralizados credenciados pelo governo federal, operados por empresas privadas rendem melhores resultados e são recomendados para a maioria dos países em desenvolvimento. Os programas de I/M são uma parte importante dos esforços para controle das emissões veiculares. Para assegurar que os avanços nos sistemas de controle de emissões instalados nos veículos modernos continuem operando apropriadamente, os programas de I/M

são agora encontrados na maioria das cidades em vários países do mundo (HARRINGTON et al, 2000 apud LOUREIRO 2005).

De acordo com as metas do PROCONVE, os órgãos estaduais de controle ambiental deveriam implantar, a partir de 1997, os Programas de I/M, cuja regulamentação se deu através das seguintes Resoluções do CONAMA (07/93, 18/95, 227/97, 256/99, 418/09, 426/10 e 453/11). Porém, atualmente somente o Rio de Janeiro (pioneiro) e São Paulo o fazem. Os demais Estados utilizam como argumento que estariam criando “mais um imposto para os cidadãos donos de veículos”.

A relação entre eficácia e eficiência de um programa de I/M é a preocupação do estudo realizado por Abreu (2003). Atualmente, não só nos países desenvolvidos, mas também no Brasil e em outros países em desenvolvimento, todos os veículos novos são fabricados de modo a atenderem padrões restritivos de emissão de gases poluentes. Mas só é possível manter este perfil de baixas emissões se os sistemas de controle de emissões, assim como os motores, estiverem funcionando adequadamente. Um automóvel equipado com um moderno sistema de controle de emissão e que esteja com o seu conversor catalítico quebrado ou com a sua sonda de oxigênio desregulada pode aumentar as emissões de CO em vinte vezes ou mais (FAIZ et al., 1996 apud ABREU 2003). Além disso, mesmo que o motor do automóvel, ou o seu sistema de controle de emissão, não venham a sofrer qualquer tipo de avaria, haverá um desgaste natural dos mesmos com o passar dos anos.

Há também a preocupação com os veículos que estão atualmente em uso, mas que foram fabricados em épocas em que não havia controle de emissão de poluentes. O percentual de veículos poluidores aumenta com a idade, sendo que 30% dos automóveis americanos com cinco anos de uso são excessivamente poluidores, o mesmo ocorrendo com 50% daqueles com sete anos de uso – metade da frota americana em 2000 tinha mais de sete anos (DOE, 2002 apud ABREU 2003).

No âmbito geral, em torno de 10-20% dos veículos da frota americana são responsáveis pela maior parte das emissões de poluentes em termos acumulativos: 5% da frota é responsável por 25% de todas as emissões, 15% da frota é responsável por 43% de todas as emissões e 20% da frota é responsável por 60% de todas as emissões (U.S. EPA, 1994<sup>a</sup> apud ABREU 2003).

Por não ser fácil a identificação destes veículos, já que, na maioria das vezes as emissões de poluentes não são visíveis e não afetam a dirigibilidade do veículo, torna-se necessária a implantação de um Programa I/M que vá identificá-los, levando o usuário a providenciar o devido reparo com o propósito de ser aprovado na



reinspeção. De acordo com o Banco Mundial, a identificação de veículos com problemas de manutenção, acompanhada pelo reparo adequado em um Programa I/M podem levar a uma redução de 30 a 50% das emissões médias (FAIZ et al., 1996 apud ABREU 2003).

A fim de se verificar e comprovar a eficácia e a eficiência dos Programas I/M e até prever as reduções das emissões veiculares devido à implantação dos mesmos, são realizados inventários de emissões baseados em fatores de emissão estimados por programas computacionais. Tais programas, como o MOBILE5 nos Estados Unidos e o COPERT III na Europa são baseados em dados obtidos em Programas I/M já implantados.

## **2.7.2 A Experiência Brasileira em Programas de I/M**

Como já citado, o PROCONVE instituiu os Programas de I/M, ainda somente implantados nos estados do Rio de Janeiro e São Paulo. As diretrizes gerais para a implantação dos Programas de I/M foram definidas inicialmente pela Resolução CONAMA nº 7 desde o ano de 1993, conforme previsto no Código de Trânsito Brasileiro (Lei nº 9.503 de 1997), que condiciona o licenciamento anual do veículo à sua aprovação nesses programas.

Sobre os Programas I/M, a Resolução atual nº 418, de 25 de novembro de 2009, estabelece critérios gerais para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular – PCPV para implantação de Programas de Manutenção de Veículos em Uso – I/M e determina novos limites de emissão e procedimentos para avaliação do estado de manutenção de veículos em uso.

Segundo a Resolução, os programas de I/M deverão ser dimensionados prevendo a construção de linhas de inspeção para veículos leves e pesados, na proporção adequada à frota alvo do programa e as inspeções deverão ser realizadas em centros de inspeção distribuídos pela área de abrangência do programa.

A periodicidade da inspeção será definida pelos órgãos estaduais e municipais competentes e deverá ser de, no máximo, uma vez a cada ano, podendo, contudo, ser previsto uma frequência maior, no caso de frotas urbanas de uso intensivo.

Deverá ser estabelecido um critério de rejeição/aprovação/reprovação dos veículos inspecionados nos Programas de I/M de forma que, se o veículo for reprovado em um único item relativo à inspeção visual, ou aos parâmetros medidos, será rejeitado/reprovado na inspeção. Deverá, também, ser estabelecida

vinculação dos Programas de I/M com o sistema de licenciamento anual dos veículos de forma que os veículos reprovados na inspeção não recebam autorização para circulação.

## 2.8 ESTUDOS NO BRASIL SOBRE O TEMA

Abreu (2003), em sua dissertação, tratou em avaliar a eficácia dos Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (Programas I/M), na redução dos principais poluentes atmosféricos emitidos pelo setor de transporte rodoviário. Segundo a autora, a análise do estado-da-arte dos Programas I/M, os seus resultados alcançados na redução de emissões de monóxido de carbono (CO) da frota de automóveis da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), através da implantação de diferentes modelos de Programa I/M, confirmam seu valor como um mecanismo para alcançar melhorias na qualidade do ar.

Szwarcfiter (2004), em sua tese, propõe um Programa de I/M e da renovação acelerada da frota e analisa o potencial de redução das emissões de poluentes de origem veicular decorrentes desses programas em conjunto ou isoladamente, tendo como frota alvo os veículos leves da Região metropolitana de São Paulo, no período de 2003-2010. Os resultados destas simulações indicam que esses programas poderiam contribuir de maneira importante para reduzir emissões veiculares.

Mendes (2004), em sua tese, apresenta de forma condensada as principais políticas públicas implementadas no Brasil para a redução da poluição atmosférica provocada principalmente pelos veículos leves de passageiros nos centros urbanos. Uma atenção especial é dada ao PROCONVE, que atua a partir do estabelecimento de limites de emissão máximos para veículos novos vendidos no país. As consequências desse programa e seus efeitos de médio e longo prazo sobre as emissões de poluentes atmosféricos são quantificados e discutidos, a partir de um estudo de inventário das emissões na Região Metropolitana de São Paulo. O inventário, que leva em conta novas hipóteses sobre a deterioração das emissões, mostra que os efeitos do PROCONVE podem ser menores do que os publicados em estudos anteriores, o que indica a necessidade de se criar novos instrumentos de política para reduzir as emissões veiculares.

Loureiro (2005), em sua dissertação, assinala que o inventário de emissões da RMRJ demonstrou que a frota de veículos é a maior fonte de emissões atmosféricas. A manutenção inadequada e a idade da frota são fatores que contribuem para esse quadro. Diversas medidas vêm sendo tomadas pelos órgãos ambientais e outros segmentos da

sociedade, com o objetivo de reduzir e controlar as emissões. Contudo, os resultados não são obtidos e nem tão pouco observados em curtos períodos de tempo.

Azuaga (2000), em sua dissertação, avalia os danos ambientais causados por veículos leves no Brasil através de um índice de dano em termos monetários. Este índice foi desenvolvido a partir de estimativas de custo de dano ambiental e à saúde humana de poluentes atmosféricos para comparar a frota de veículos leves de 1998 a uma frota projetada de 2020, segundo duas hipóteses futuras. A primeira hipótese corresponde à manutenção das características atuais de emissão e consumo de combustível dos veículos leves. A segunda traz veículos leves com aperfeiçoamentos tecnológicos que aumentam a eficiência energética. Finalmente, calcularam-se os custos de dano evitados, assim como a economia de combustível, advindos da introdução de aperfeiçoamentos tecnológicos na frota de veículos leves.

Oliveto (2009), na sua dissertação, abordou a evolução e o desenvolvimento do GNV no Brasil e na Argentina, como mais uma alternativa energética destinada ao uso veicular. Os resultados da pesquisa apontaram que apesar dos esforços empreendidos pelos setores governamentais e privados, deve ser estabelecida pelos governos da região do Mercosul, uma política mais definida para uso do GNV nessa região.

Dutra (2007), em sua tese, quantifica a emissão de poluentes veiculares, mediante Inventários de Emissão Veicular, onde é necessário conhecer os fatores médios de emissão (FE) originais dos veículos novos, os fatores de deterioração das emissões com o tempo de uso dos veículos, as quilometragens médias anuais percorridas e os dados de caracterização da frota. Os FE dos veículos novos são fornecidos pelo IBAMA e os dados de frota pelos órgãos de trânsito. Portanto, neste estudo foram determinados os fatores de deterioração de monóxido de carbono (CO) e de hidrocarbonetos (HC) e as quilometragens percorridas para os veículos leves de Belo Horizonte. Os fatores de deterioração e as quilometragens percorridas foram utilizados para elaboração do inventário de emissões para os veículos leves de Belo Horizonte e podem ser usados para elaborar inventários em outras regiões do Brasil.

Lemos (2010), em sua dissertação, utilizou a metodologia *bottom-up*, onde é verificado de forma teórica os índices de poluentes que saem pelo tubo de escapamento da maior frota de veículos leves do país. Foram feitas diversas simulações no decorrer do estudo, denominadas de “cenários”, que são baseadas na simples, porém

eficiente, aplicação da metodologia *bottom-up* que utiliza, para os cálculos, os fatores de emissões de acordo com a evolução das fases do PROCONVE para obter a quantidade de determinados poluentes emitido por ano. Os cenários permitem a substituição dos veículos mais velhos por veículos novos e apresentam resultados positivos para o meio ambiente, dentre eles aqueles que podem ser considerados como alternativas ousadas e outros podem ser vistos como alternativas mais conservadoras, mas todos demonstram melhorias significativas para a qualidade do ar na cidade de São Paulo.

Ainda de acordo com Lemos (2010), a evolução das fases citadas pelo PROCONVE trouxe muitos benefícios ao meio ambiente por meio das novas tecnologias desenvolvidas e embarcadas nos veículos novos e que não deixam de ser a solução para o futuro, onde melhorias nas condições atmosféricas devem ser alcançadas. Questões como políticas públicas e legislações específicas para a substituição dos veículos velhos da rua, não saem da teoria. Na prática o trânsito está cada vez mais caótico, em partes pela quantidade de carros em péssimas condições de uso que ainda circulam e quebram todos os dias, afetando diretamente a qualidade do ar na metrópole paulista.

Lima (2001), o estudo realizado pelo Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente – LIMA teve como objetivo avaliar os ganhos proporcionados pelo PROCONVE. O estudo priorizou a análise dos veículos leves abrangendo os principais aspectos ambientais, tecnológicos, econômicos, sociais e institucionais associados às emissões veiculares e buscar subsídios para a continuidade do mesmo por meio de análise de cenários futuros até 2010. No estudo de caso, foram analisados cenários para a RMSP, em função de ser o maior centro urbano brasileiro, onde se concentra um nível significativo de emissões, e de sua maior disponibilidade de informações.

O INEA (2009), da Secretaria do Ambiente do Governo do Estado do Rio de Janeiro, através do seu Relatório Anual da Qualidade do Ar do Rio de Janeiro de 2009, contempla o produto final da avaliação dos dados gerados pela Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar, nas regiões do Estado do Rio de Janeiro consideradas prioritárias em termos de comprometimento do recurso atmosférico, além de apresentar os principais programas implantados, ou em implantação, que integram a base da gestão da qualidade do ar no Estado. O propósito desse documento é divulgar, anualmente, as informações obtidas por meio do monitoramento que vem sendo realizado há cerca de 30 anos, informando à população a qualidade do ar a que está exposta. Ressalta-se que, diariamente, as informações sobre a qualificação do ar das

localidades monitoradas são divulgadas por meio do Boletim de Qualidade do Ar, no site do INEA. O Relatório apresenta as informações de acordo com as três regiões prioritárias: Região Metropolitana, Região do Médio Paraíba e Região Norte Fluminense.

Como se observou neste capítulo, tanto a academia como os órgãos governamentais estão preocupados com os efeitos negativos da poluição atmosférica urbana, provocadas principalmente pelos veículos automóveis e comerciais leves, responsáveis maiores pelas mesmas. É consenso que seja necessário fazer frente a esta questão, tanto pela saúde e bem estar das pessoas como também devido aos efeitos climáticos. Destaque deve ser dado ao aumento significativo do efeito estufa nos últimos anos, acarretando no aquecimento terrestre, com consequências irreversíveis nos riscos do degelo das calotas polares e aumento do nível dos oceanos.



### 3 PROCESSO DE ANÁLISE DAS EMISSÕES DE POLUENTES

#### 3.1 CENÁRIO DO GNV

Segundo dados do site do DENATRAN (2013), o Brasil possui uma frota de quase de mais de 80 milhões de veículos, entre automóveis (45 milhões), comerciais leves, caminhões, ônibus, carretas e motocicletas. Este número é 122% maior do que a frota que circulava pelo país em 2003: 36 milhões de veículos.

A população brasileira, no entanto, cresceu 12% neste mesmo período (IBGE, 2013). Isso significa que a relação de veículos por habitante saltou de um para cada cinco indivíduos no ano 2000 para cerca de dois veículos para cada cinco habitantes, em 2013, ou seja, dobrou. Levando em conta apenas os automóveis e comerciais leves, o Brasil conta agora com uma frota de 45 milhões de veículos (um carro para cada 4,5 habitantes).

Segundo o site do DENATRAN (2013), a frota atual de automóveis em Santa Catarina é de 2,3 milhões e na Grande Florianópolis (região metropolitana), segundo o site do DETRAN/SC (2013), é de aproximadamente 368 mil veículos.

Segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP (2012), a frota brasileira de veículos convertidos ao GNV é de 1,743 milhões de veículos, e no Estado de Santa Catarina é de cerca de 70 mil veículos. Em janeiro de 2013, em todo o Brasil, foram realizadas 2.234 conversões.

Segundo relatório da SCGÁS (2012), a frota convertida para o uso do GNV no Estado de Santa Catarina é de aproximadamente 95.000 veículos e na Grande Florianópolis é de 15.756 veículos GNV.

Conforme Loch (2012), as estatísticas apontam para mais de 40.000 veículos que abastecem livremente sem selo GNV nos postos de abastecimento, isto é, mais de 35% dos veículos registrados. Um dos motivos para esta frequência é a fiscalização ineficiente e a penalização branda demais.

Segundo o site do INMETRO (2013), estão registradas em Santa Catarina 65 oficinas instaladoras de *kit* GNV. Ainda de acordo com o site do Inmetro, dos 321 Organismos de Inspeção de Segurança Veicular Acreditado (OIA-SV) no Brasil, 31 estão em Santa Catarina. Na Grande Florianópolis há quatro OIA-SV ou ITL, credenciadas pelo INMETRO e homologadas pelo DENATRAN.

### 3.2 LICENCIAMENTO DE VEÍCULOS A GNV

A instalação do *kit* GNV nos veículos para a conversão ao GNV para deve ser feita, obrigatoriamente, em uma das Oficinas Instaladoras registradas pelo INMETRO conforme normas do Regulamento Técnico da Qualidade – RTQ 33. Em seguida, o veículo deve passar por uma inspeção de segurança veicular e de emissão de poluentes em um Organismo de Inspeção de Segurança Veicular Acreditado (OIA-SV), os quais também seguem a RTQ 37.

As empresas responsáveis pela inspeção veicular são credenciadas pelo INMETRO (que as denomina Organismo de Inspeção Acreditado para Segurança Veicular – OIA/SV) e homologadas pelo DENATRAN (que as denomina Instituição Técnica Licenciada – ITL). Antes da instalação, é necessário solicitar uma Autorização Prévia ao Departamento Estadual de Trânsito – DETRAN de cada Estado da Federação.

A Resolução nº 292/08 do CONTRAN obriga os veículos convertidos ao GNV a serem inspecionados anualmente nas ITL, para verificação da sua segurança veicular bem como o nível de emissão dos seus gases e poluentes (conforme padrões restritivos graduais do PROCONVE), para só então renovar seu licenciamento nos órgãos de trânsito.

Cada veículo passa duas vezes pelo teste de emissão, uma vez utilizando o combustível principal (álcool ou gasolina) e a segunda utilizando o GNV, ou vice-versa. Foram estudados então os processos reprovados para avaliar a diferença entre o índice de reprovação para cada um dos combustíveis.

Após inspeção, o proprietário do veículo aprovado recebe o Certificado de Segurança Veicular (CSV) – documento obrigatório para a circulação dos veículos convertidos a gás e um Selo de identificação de conformidade adotado pelo INMETRO, informando a validade anual da inspeção e outros dados técnicos, que deve ser apresentado juntamente com outros documentos (documento original do veículo, autorização para modificação do veículo e notas fiscais do *kit* GNV e da mão-de-obra de instalação), num prazo de 30 dias, ao DETRAN, fechando assim a comprovação documental necessária para circular com o veículo.

Segundo MARQUES (2010), embora o prazo para regularizar-se é de um mês, pelo Código Brasileiro de Trânsito – CTB, o veículo não pode rodar em via pública com modificação não regularizada, o que implica que teria de ser regularizada de imediato.



No documento de porte obrigatório estará escrito, no campo combustível, GASOL/GNV ou ÁLCOOL/GNV, ou seja, tecnologicamente é um veículo bicomcombustível, permitindo que o motor do veículo trabalhe tanto com GNV quanto com o combustível originalmente indicado pelo fabricante. O motorista opta por qual combustível irá usar selecionando a opção em um simples botão (chave comutadora), instalado no painel do veículo. A escolha pode ser feita até mesmo com o veículo em movimento.

Cabe destacar que existe um número desconhecido de veículos bicomcombustíveis a GNV, chamados de “clandestinos”, os quais são classificados em dois tipos, a saber:

- Aqueles que fizeram a instalação para GNV em oficinas instaladoras não registradas pelo INMETRO, conhecidas como “instaladoras de fundo de quintal”, sem condição de legalizar o seu Certificado de Registro e Licenciamento de Veículo (CRLV);
- Aqueles que fizeram a instalação em oficinas instaladoras registradas, mas que não querem legalizar a sua documentação devido aos custos da inspeção de segurança anual obrigatória em seu veículo nas ITL.

Estes veículos não regulamentados no DETRAN podem abastecer normalmente nos postos de combustível, sem a necessidade de apresentar selo de Conformidade Técnica. Esta situação possui um grande risco à sociedade e podem ser verdadeiras “bombas ambulantes”, podendo levar a explosões e consequentemente ferimentos e mortes.

### 3.3 INSPEÇÃO DE VEÍCULOS A GNV

Nas ITL, em cada inspeção, após o processo administrativo de abertura da Ordem de Serviço (OS), o veículo passa por uma avaliação visual para verificação do funcionamento do motor em marcha lenta e da emissão visível dos gases de escape, vazamento do GNV, luzes dos faróis, etc. Após registro do veículo nas máquinas computadorizadas, ocorre na linha de inspeção através de equipamentos eletromecânicos a verificação da estrutura veicular para avaliação da sua segurança para trafegar nas vias, conforme indica o Regulamento Técnico da Qualidade do Inmetro RTQ 37.

Conforme determina a Instrução Normativa nº 06/10 do IBAMA, se o ensaio dos gases não puder ser concluído por conta de problemas de regulação ou mau funcionamento do motor, problemas de vazamento do combustível líquido ou gasoso, emissão de cor azul do escapamento, etc., a inspeção é interrompida e diz-se que o veículo foi “REJEITADO”. Se as medições dos gases estiverem dentro dos limites estabelecidos, o veículo é “APROVADO”, caso contrário, diz-se que o veículo foi “REPROVADO”.

Ao final do processo, se o veículo é APROVADO, o proprietário recebe o Certificado de Segurança Veicular – CSV e o selo GNV, que é um instrumento importante no controle estatístico dos veículos que possuem o sistema GNV instalado, além de orientar equipes de salvamento (Defesa Civil, Bombeiros, etc.) sobre a existência desse combustível (ITP, 2007). Este selo deve ser portado pelo proprietário ou condutor, podendo ser fixado no para-brisa do veículo, de forma a ser visualizado em ambos os lados. Por exemplo, veículos convertidos para gás natural não devem ser tratados com extintores de água, pois a água pode resfriar rapidamente o cilindro, danificando o seu material e aumentando o risco de explosões (ITP, 2007).

### 3.4 MEDIÇÃO DA EMISSÃO DE POLUENTES

#### 3.4.1 Principais Gases e Poluentes Medidos nos Ensaios

É importante ressaltar o comportamento dos poluentes e gases frente aos dispositivos controladores da combustão, pois uma queima nunca é ideal, emitida na atmosfera pelos veículos automotores durante os testes do analisador. Segundo Victorette et al (2008) e a Instrução Normativa 06/10 do IBAMA, os principais gases e poluentes emitidos na atmosfera pelos veículos nos ensaios são:

- a) **O<sub>2</sub>**: indicador de mistura pobre. O oxigênio servirá apenas para o diagnóstico do motor, afinal não é um gás tóxico. Sua presença no escapamento é resultado de uma combustão parcial;
- b) **CO<sub>2</sub>**: quanto maior for a concentração deste gás no escapamento, melhor a combustão. Sua leitura deve ser superior a 12%. Poderíamos dizer que quanto maior o CO<sub>2</sub> lido, melhor, porém este gás tem grande impacto no efeito estufa. Na análise das emissões, porém, quanto mais CO<sub>2</sub>, maior é a eficiência da combustão, automaticamente, menor será o consumo de combustível, melhor será o rendimento

geral e menor será a emissão dos gases altamente tóxicos: HC e CO;

- c) **CO:** gás resultante de uma combustão incompleta. Este é o gás mais importante em termos de poluição. O CO deveria ser um CO<sub>2</sub>, porém, na falta de O<sub>2</sub> (mistura rica) na queima, o Carbono (C) combina apenas com um Oxigênio (O), quando o ideal seria combinar com dois, por isso o CO é muito tóxico e muito reativo. Quanto menor a porcentagem de CO, melhor a queima (VICTORETTE et al 2008);
- d) **HC:** total de substâncias orgânicas, incluindo frações de combustível não queimado ou que sofreram apenas oxidação parcial e subprodutos resultantes da combustão, presentes no gás de escapamento e que são detectados pelo detector de infravermelho para HC, expresso como normal hexano<sup>7</sup>, em partes por milhão em volume – ppm. Também é proveniente de uma queima não ideal. É resultante das partes fracionadas das cadeias longas do combustível que não se oxidaram.

### 3.4.2 Gases e Poluentes Calculados nos Ensaios

Conforme determina a Instrução Normativa n° 06/10 do IBAMA, o software do programa de computador IGOR, após medir os poluentes CO, HC, CO<sub>2</sub> e a Diluição, calcula o Fator de diluição (F. Diluição), o CO<sub>c</sub> (monóxido de carbono corrigido) e o HC<sub>c</sub> (hidrocarbonetos corrigidos), através de fórmulas apresentadas a seguir:

O Fator de diluição (F diluição) tem como objetivo de mostrar quando há entradas de ar no sistema de escapamento dos veículos durante os ensaios realizados, e pode ser definido assim:

Fdiluição: é a razão volumétrica de diluição da amostra de gases de escapamento devida à entrada de ar no sistema, dada pela expressão:

$$F_{diluição} = 15 / (CO + CO_2) \text{ medidos (gasolina)}$$

Para o GNV o fator é igual a 12.

O Fator de Diluição dos gases de escapamento deve ser igual ou inferior a 2,5. No caso do fator de diluição ser inferior a 1,0, este deverá

---

<sup>7</sup> Expresso em equivalente Hexano ou Propano, significa ter uma mistura de Hidrocarbonetos desconhecida-Hidrocarbonetos Totais (THC)-cuja resposta causa no detector de infravermelho, a mesma resposta que causa uma determinada concentração do gás de calibração do analisador, geralmente utilizado o gás Hexano ou Propano (CETESB/OUVIDORIA,2013).

ser considerado como igual a 1,0, para o cálculo dos valores corrigidos de CO e HC.

O conceito de  $CO_c$  é utilizado quando a soma dos valores em percentagem de CO e  $CO_2$  forem inferiores a 15% para a gasolina e 12% para o GNV. A utilização do valor do  $CO_c$  permite corrigir o efeito da diluição dos gases de escape com ar adicional que entra no sistema de escape. A soma dos valores em percentagem de CO e  $CO_2$  pode ser inferior a 15%, por exemplo, quando existe uma fuga no sistema de escape. Devido à fuga existe uma entrada de ar suplementar no sistema de escape provocando a diluição dos gases de escape com ar exterior, provocando uma descida dos valores de CO e  $CO_2$  nos gases de escape (CEPRA, 2012).

O cálculo do valor correto da porcentagem de  $CO_c$  existente nos gases de escape, utilizando a fórmula descrita a seguir, isto é:

$CO_c = 15 / (CO + CO_2) \text{ medidos } \times CO \text{ medido, quando } (CO + CO_2) \text{ medidos } < \text{que } 15\%$

$CO_c = CO, \text{ quando } (CO + CO_2) \text{ medidos for } \geq 15\%$

Da mesma forma, o  $HC_c$  é o valor de HC corrigido quanto à diluição dos gases de amostrados, conforme a expressão:

$HC_c = 15 / (CO + CO_2) \text{ medidos } \times HC \text{ medido (gasolina)}$

Para o GNV o fator é igual a 12.

### 3.4.3 Equipamento Analisador de Gases

O analisador de gases (Figura 3.1) é uma ferramenta de diagnóstico automotivo que avalia a eficiência da combustão, por meio da análise dos gases de escapamento. A partir desses resultados, permite identificar defeitos mecânicos e elétricos nos veículos, como: falha de faísca de velas, rotação irregular do motor, falha da combustão, entre outras falhas que afetam a qualidade da combustão, elevando os índices de poluentes lançados no meio ambiente.

As medidas das concentrações dos gases obtidas pelo analisador de gases de fluxo parcial são baseadas em infravermelho não dispersivo. A denominação “parcial” se refere ao fato do analisador limitar-se a medir apenas parte dos gases da exaustão, diferentemente de métodos que avaliam os gases em sua totalidade.

O princípio de funcionamento de um analisador de infravermelhos é baseado na propriedade que um gás tem em absorver radiação infravermelha com um determinado comprimento de onda. Para a medição de emissões de motores de ciclo Otto, é utilizado um analisador para quantificar a concentração de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) existente nos gases de escape (CEPRA, 2000).

O analisador utilizado pelas ITL da Grande Florianópolis é da marca Tecnomotor, modelo TM 132, da Tecnomotor Eletrônica do Brasil SA, ano 2008 (Figura 3.1). Trabalha conectado ao PC via porta serial RS 232, faz análise dos quatro principais gases de escapamento: CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub><sup>8</sup> (opcional) e, ainda, variáveis como “diluição”, CO corrigido (CO<sub>c</sub>), HC corrigido (HC<sub>c</sub>) e o Fator de Diluição (F. Diluição), que são calculados através das informações dos quatro gases principais, dos motores de ciclo Otto. O analisador de gases oferece a opção de monitorar o valor de *lambda*, temperatura e rotação do motor através de pinça indutiva P 170 TECNOMOTOR (2012).

O manual também informa que este analisador não possui display e nem impressora e, portanto, deve trabalhar em conjunto com um microcomputador e o software adequado (IGOR). Está em conformidade com as normas internacionais OIML – Organização Internacional de Metrologia Legal, Classe I (hum) e BAR 90 (CALIFORNIA/EUA), e no Brasil foi homologado pelo INMETRO, garantindo altos níveis de precisão, repetitividade e confiabilidade disponíveis até o momento. O programa de computador do analisador de quatro gases deve estar de acordo com a Resolução CONAMA nº 418/2009, a Instrução Normativa nº 06/10 do IBAMA e as normas NBR 13539 e NBR 13540.

---

<sup>8</sup> NO<sub>x</sub> – Óxidos de Nitrogênio: a formação desse gás se dá em condições de temperatura elevada na câmara de combustão. A nossa legislação não exige a leitura do NO<sub>x</sub>. Para tal, seria necessária a utilização de um dinamômetro, pois o veículo precisa estar em carga para emissão desse gás. A instalação de um sensor para leitura de NO<sub>x</sub> é opcional em um analisador de gases. Têm sua formação regulada principalmente, pela temperatura no interior da câmara de combustão.

Figura 3.1- Analisador de Gases TM 132, da Tecnomotor



Fonte: GAVA

O analisador é fornecido pelas fabricantes com o lacre do INMETRO, que garante a calibração correta do aparelho. Este lacre possui a validade de verificação por seis meses, porém o equipamento pode precisar de uma calibração antes deste prazo, dependendo da quantidade de testes executados com o analisador, segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia – VIM 2008. O INMETRO verifica apenas se o aparelho está calibrado com o padrão, porém o ajuste (erro) é realizado pela fabricante ou por uma oficina de manutenção.

Como a combustão é um processo complexo, envolvendo processos químicos sensíveis, é importante para garantir resultados precisos nos analisadores de gases se as manutenções forem programadas, reduzindo assim os custos de operação e ficar atento aos seguintes cuidados operacionais básicos:

- Evitar utilizar o aparelho em veículos com irregularidades perceptíveis, como motor que apresenta queima de óleo, pois isso pode obstruir os filtros e contaminar as peças que compõem o analisador;
- O analisador de gases é um equipamento que necessita de manutenção periódica, pois do contrário pode apresentar erros de medição;
- A troca dos filtros deve ocorrer sempre que for contaminado.

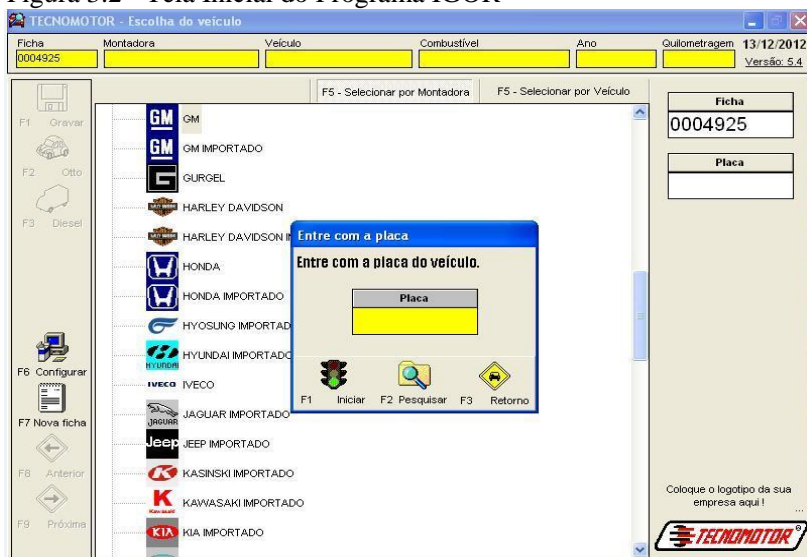
### 3.4.4 Ensaios Realizados com o Analisador de Gases

Os ensaios realizados nas ITL seguem os padrões de limites dos poluentes conforme a Resolução nº 418/09 do CONAMA e a Instrução Normativa nº 06/10 do IBAMA, mostrado a seguir de uma forma resumida os passos dos ensaios realizados. Ao ligar o analisador de gases deve-se aguardar um período de aquecimento do mesmo conforme indicado pelo fabricante (em torno de 10 minutos). Após o aquecimento é necessário, fazer um teste de vazamentos (entrada de ar falso no sistema) bloqueando a entrada de ar da sonda de escapamento durante 10 segundos de acordo com a sinalização do programa IGOR. Este aplicativo executa uma autocalibração do aparelho em um intervalo de tempo de 30 em 30 minutos sempre no início do teste. Nessa fase os gases HC, CO e CO<sub>2</sub> são zerados e o O<sub>2</sub> é ajustado para 21%, padrão da atmosfera terrestre. Nessa fase a sonda deve estar fora do escapamento. Os gases são calibrados com o ar atmosférico.

Antes de iniciar cada ensaio dos gases é necessário o cadastramento na tela do programa IGOR: placa do veículo, tipo de combustível, ano-modelo, etc. (Figura 3.2).

Logo a seguir, são conectados os sensores (rotação, temperatura, escapamento) que irão monitorar e fornecer as informações para o analisador. Ao dar partida no motor do veículo, o analisador verifica inicialmente a temperatura mínima do óleo do motor (70° C) para o teste do óleo lubrificante e se for utilizar a o termômetro digital a laser, a temperatura mínima da carcaça do motor deve ser de 60° C (FERNANDES, 2009).

Figura 3.2 - Tela Inicial do Programa IGOR



Fonte: GAVA

Antes de iniciar a coleta das amostras, o analisador de gases realiza a medição do HC que fica nas mangueiras e filtros do equipamento. Se o valor medido de HC na fase de resíduo de HC for superior ao valor estabelecido na tela de configuração, o equipamento entra no modo de purga por um intervalo de tempo de 15 segundos. Caso a medida HC continue fora dos limites, a fase purga se reinicia por um intervalo de tempo de 180 segundos até que a medida fique dentro dos padrões. Esta fase de resíduo de HC ocorre antes de se colocar a sonda no escapamento.



Figura 3.3 - Tela Inicial do Teste de Emissão dos Gases

**TECNOMOTOR - Analisador de gases**

Ficha 0004928	Montadora GM	Veículo BLAZER	Combustível GNV + GASOLINA	Ano 1997	Odometragem 197396	13/12/2012 Versão: 5.4
------------------	-----------------	-------------------	-------------------------------	-------------	-----------------------	---------------------------

F1 Iniciar

F3 Auto zero

F4 Liga purga

F8 Anterior

F9 Próxima

<p>Temperatura do ar --- °C</p> <p>Pressão Atmosférica --- kPa</p> <p>Temperatura do motor --- °C</p> <p>Rotação RPM --- <input type="checkbox"/> Ignição Estática</p>	<p><b>HC</b></p> <p>--- 0% --- PPM Vol</p>	<p><b>HC Corrigido</b></p> <p>0 0% 700 PPM Vol</p>
	<p><b>CO</b></p> <p>--- 0% --- %Vol</p>	<p><b>CO2</b></p> <p>--- 0% --- %Vol</p>
<p><b>ROTAÇÃO</b></p> <p>0 0% 0 RPM</p>	<p><b>Fator de Diluição</b></p> <p>0.00 0% 2.50</p>	<p><b>CO Corrigido</b></p> <p>0.00 0% 1.00 %Vol</p>

**ANALISADOR DE GASES EM REPOUSO !**

**F1 PARA INICIAR TESTE...**

**ATENÇÃO:**

TEMPO

000

Fonte: GAVA

Previamente à medição dos gases de escape, deve ser realizada a descontaminação do óleo de cárter do motor: o veículo é acelerado a 2500 rotações por minuto (rpm) + 200 rpm durante o período mínimo de 30 segundos com a sonda acoplada no escape do veículo, conforme a Figura 3.4 a seguir.

Figura 3.4 - Sonda de Escapamento TM 107 Acoplada ao Veículo



Fonte: GAVA

Nessa fase a rotação do veículo é medida pelo sensor de rotação (Figura 3.5). O relógio começa a contar o tempo quando a rotação estiver dentro da faixa especificada. Se durante os 30 segundos a rotação sair da faixa, o relógio pára de contar o tempo.

Figura 3.5 - Tela do IGOR na Fase de Descontaminação do Veículo



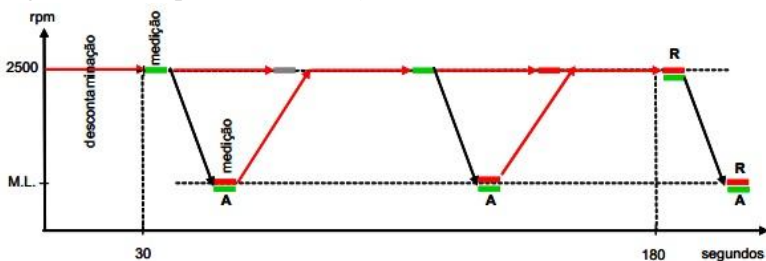
Fonte: Ferreira (2010)

Após a descontaminação de 30 segundos é iniciado o teste com a medição dos gases da amostra do escapamento, ou seja, o HC, CO e o CO<sub>2</sub>.

O aplicativo pede para que se acelere o veículo até 2500 rpm por um período máximo de até 180 segundos, caso os valores dos gases e da rotação a 2500 rpm se encontrem fora do especificado em seguida, iniciada a coleta dos gases.

O gráfico da Figura 3.6 permite visualizar o ciclo de rotação em marcha lenta (ML) e em marcha acelerada (MA – 2500 rotações) durante os testes, pois seguindo as barras verdes é um ciclo de aprovação e as barras vermelha reprovação, na sequência total dos 180 segundos.

Figura 3.6 - Sequência de Medições dos Poluentes



Fonte: MMA (2013).

A análise de gases e poluentes é realizada em duas etapas: primeiro com o GNV e após, com o combustível principal, separadamente. Em cada etapa, o ensaio é repetido em dois regimes de rotação: primeiramente acelerado (2500 rpm com tolerância de  $\pm 200$  rpm), mantendo o veículo nesta condição por 30 segundos e, em seguida, em marcha lenta (faixa de rotação entre 600 a 1200 rpm e ser estável a  $\pm 100$  rpm) mantendo o veículo em média de 10 segundos. O relatório final dos ensaios é o resultado das comparações feitas entre os resultados obtidos com limites estabelecidos pelo PROCONVE.

Se o veículo for *flex*, o proprietário é questionado sobre o combustível com o qual o veículo foi abastecido pela última vez.

A medição é feita através da captura dos gases emitidos pelo escapamento do veículo, passando pelos filtros do equipamento, que tem a função de reter água e material particulado presente nas amostras. Em seguida, o aparelho em repouso faz as medições dos gases principais CO e CO<sub>2</sub> (medidos % em volume) e HC (medido em partes por milhão – ppm). Com estas medições, o aplicativo IGOR calcula e fornece o valor de CO<sub>c</sub>, HC<sub>c</sub> e o Fator de Diluição (F.Diluição) e compara com os limites definidos na atual Resolução nº 418 de 2009 do CONAMA.

Quando as medidas lidas estão dentro desses limites, os resultados dos ensaios são os seguintes: o veículo é “APROVADO”, caso contrário o veículo é “REPROVADO”. Caso tenha sido “APROVADO”, é emitido o CSV, e caso contrário, procede-se a emissão do relatório das não conformidades técnicas observadas para que sejam solucionadas e na inspeção de retorno possa ser feita nova avaliação técnica. Teste “REJEITADO” quando o ensaio é interrompido por algum motivo, que pode ser falha do equipamento ou do veículo. As Figuras 3.7 e 3.8 a seguir ilustram relatórios finais aprovados e reprovados pelo aplicativo.

Figura 3.7 - Tela do Programa IGOR - Relatório para Veículo APROVADO

**TECNOMOTOR - Resultados do analisador de gases**

Ficha: 0004635    Montadora: FIAT    Veículo: STILO 16V    Combustível: GNV + GASOLINA    Ano: 2003    Quilometragem: 92804    06/12/2012    Versão: 5.4

**TESTE OFICIAL EM MARCHA-LENTA 1º ESCAPAMENTO**

Leitura	GNV			GASOLINA			Unidade
	Mínimo	Valor	Máximo	Mínimo	Valor	Máximo	
Rotação	680	772	880	680	723	880	RPM
HC	---	37	---	---	86	---	PPM Vol
HCC	0	39	500	0	90	200	PPM Vol
CO	---	0.08	---	---	0.39	---	% VOL
CO2	---	11.20	---	---	13.90	---	% VOL
COc	0.00	0.08	1.00	0.00	0.40	0.50	% VOL
F. Diluição	0.00	1.06	2.50	0.00	1.05	2.50	% VOL

**TESTE OFICIAL EM ACELERAÇÃO 1º ESCAPAMENTO**

Leitura	GNV			GASOLINA			Unidade
	Mínimo	Valor	Máximo	Mínimo	Valor	Máximo	
Rotação	2300	2382	2700	2300	2486	2700	RPM
HC	---	39	---	---	90	---	PPM Vol
HCC	0	41	500	0	94	200	PPM Vol
CO	---	0.07	---	---	0.38	---	% VOL
CO2	---	11.30	---	---	13.90	---	% VOL
COc	0.00	0.07	1.00	0.00	0.39	0.50	% VOL
F. Diluição	0.00	1.06	2.50	0.00	1.05	2.50	% VOL

**Observações**

----- Combustível: GNV -----  
 Quilometragem: 92804  
 Teste iniciado às 15:25:10

**APROVADO**

F1 Greivar  
 F6 Resumo  
 F7 Imprimir  
 F8 Anterior  
 F9 Próxima

Fonte: GAVA

No relatório “APROVADO” serão mostradas as medidas feitas após o conserto do veículo (ajuste das medidas fora dos limites). É importante observar que o relatório “APROVADO” e o relatório “REPROVADO” darão a oportunidade ao cliente de identificar o defeito que o veículo apresentava quando entrou na ITL, a solução de conserto adotada em sua oficina de confiança e o resultado final de “APROVADO”, visto na Figura 3.7. Este relatório não deve apresentar nenhuma medida fora dos limites. As medidas que estiverem em AZUL estão dentro dos limites da inspeção, porém as medidas que estiverem em VERMELHO estão fora dos limites da inspeção.

Figura 3.8 - Tela do Programa IGOR - Relatório para Veículo REPROVADO

F1 Gravar

F6 Resumo

F7 Imprimir

F8 Anterior

F9 Próxima

TECNOMOTOR - Resultados do analisador de gases

Ficha

Montadora

Veículo

Combustível

Ano

Quirometragem

06/12/2012

0004827

GM

VECTRA GLS

GASOLINA

1996

Versão: 5.4

TESTE OFICIAL EM MARCHA-LENTA 1º ESCAPAMENTO

Leitura	GASOLINA			---			Unidade
	Mínimo	Valor	Máximo	Mínimo	Valor	Máximo	
Rotação	-100		100				RPM
HC	---		---				PPM Vol
HCc	0		700				PPM Vol
CO	---		---				% VOL
CO2	---		---				% VOL
COc	0.00		3.00				% VOL
F. Diluição	0.00		2.50				% VOL

TESTE OFICIAL EM ACELERAÇÃO 1º ESCAPAMENTO

Leitura	GASOLINA			---			Unidade
	Mínimo	Valor	Máximo	Mínimo	Valor	Máximo	
Rotação	2300	2458	2700				RPM
HC	---	2110	---				PPM Vol
HCc	0	2110	700				PPM Vol
CO	---	11.38	---				% VOL
CO2	---	5.40	---				% VOL
COc	0.00	11.38	3.00				% VOL
F. Diluição	0.00	0.89	2.50				% VOL

Observações

-----Teste HC-----  
HC superior a 2000 PPM.  
----- Combustível: GASOLINA -----

REPROVADO

Fonte: GAVA

3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS EMISSÕES SEGUNDO OS PADRÕES DO PROCONVE

A antiga Resolução nº 07 de 31 de agosto de 1993 do CONAMA dispõe as diretrizes básicas e padrões de emissão para o estabelecimento de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso – I/M, e cita no seu artigo 1º que ficam estabelecidos como padrões de emissão para veículos leves do ciclo Otto em circulação os limites máximos de CO, HC, Diluição, Velocidade Angular e Fumaça Preta e o Ruído para os veículos com motor do ciclo Diesel. Ela foi alterada posteriormente pela Resolução nº 227, de 1997, complementada pelas Resoluções nº 251 e nº 252, de 1999 e revogada pela atual Resolução nº 418, de 2009.

Até 2010, os ensaios de análise dos gases e poluentes do escapamento dos veículos adaptados ao GNV nas ITL seguiam a Resolução nº 07/93 e a Resolução nº 227/97, onde as medições gradativas de redução do CO<sub>c</sub> (CO corrigido) eram de acordo com o ano

do veículo, por exemplo, até 1979, o  $CO_c$  é igual a 6,0 (% vol) e a partir de 1997 igual a 1,0 (% vol), conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Limites de  $CO_c$  em Marcha Lenta e Acelerada para Veículos Leves do Ciclo Otto

ANO-MODELO	LIMITES (% vol.)	
Até 1979	7,0 (*)	6,0
1980-1988	6,5 (*)	5,0
1989	6,0 (*)	4,0
1990-1991		3,5
1992-1996	5,0 (*)	3,0
A partir de 1997	1,5 (*)	1,0

(\*) Limites de CO opcionais, válidos somente para o estágio inicial do Programa de I/M

Fonte: Resolução nº 07/93 do CONAMA

Os limites para HC em marcha lenta para os veículos leves do Ciclo Otto fixam um valor máximo conforme Tabela 3.2, para todos os ano/modelo de fabricação.

Tabela 3.2 - Limites de HC em Marcha Lenta para Veículos Leves do Ciclo Otto

Combustível	LIMITES	
	Gasolina/Misturas (gasolina/álcool) gás combustivel (ppm)*	Álcool/Mistura Ternária (ppm)
Ano-Modelo: todos	700	100

\*ppm (parte por milhão em volume dos gases da amostra dos gases de escapeamento)

Fonte: Resolução 07/93 do CONAMA

A Resolução definiu ainda a velocidade angular em regime de Marcha Lenta em 600 a 1200 rpm e a Diluição ( $CO + CO_2$ ) mínima de 6% para todos os veículos.

Em 2011, houve pequenas modificações nos ensaios realizados nas ITL para os gases e poluentes conforme a Resolução nº 418/09 do CONAMA para os motores de ciclo Otto, a saber:

- Foi introduzida a medição do  $HC_c$ , fator de diluição e os novos limites de rotação do motor;
- Os limites dos poluentes para os veículos fabricados até 1997 permaneceram os mesmos da resolução anterior (Resolução

07/93), porém os limites dos poluentes foram reduzidos para a inclusão de veículos novos fabricados de 1997 até 2002, 2003 a 2005 e os veículos fabricados de 2006 em diante, conforme pode ser visto nas Tabelas 3.3 e 3.4 a seguir.

Tabela 3.3 - Limites máximos de emissão de CO<sub>c</sub> em Marcha Lenta (ML) e a 2500 rpm para veículos automotores com motor ciclo Otto.

Ano de fabricação	Limites de CO <sub>corrigido</sub> (%)			
	Gasolina	Álcool	Flex	Gás Natural
Todos até 1979;	6,0	6,0	-	6,0
1980 - 1988	5,0	5,0	-	5,0
1989	4,0	4,0	-	4,0
1990 e 1991	3,5	3,5	-	3,5
1992 – 1996	3,0	3,0	-	3,0
1997 - 2002	1,0	1,0	-	1,0
2003 a 2005	0,5	0,5	0,5	1,0
2006 em diante	0,3	0,5	0,3	1,0

Fonte: Resolução nº 418/09 do CONAMA (CO<sub>c</sub> % de volume)

Tabela 3.4 - Limites máximos de emissão de HC<sub>c</sub> para veículos com motor de ciclo Otto.

Ano de fabricação	Limites de HC <sub>corrigido</sub> (ppm de hexano)			
	Gasolina	Álcool	Flex	Gás Natural
Até 1979;	700	1100	-	700
1980 - 1988	700	1100	-	700
1989	700	1100	-	700
1990 e 1991	700	1100	-	700
1992 – 1996	700	700	-	700
1997 - 2002	700	700	-	700
2003 a 2005	200	250	200	500
2006 em diante	100	250	100	500

Fonte: Resolução nº 418/09 do CONAMA

Além dos valores mostrados nas tabelas, a Resolução nº 418/09 do CONAMA, é completada pela Instrução Normativa nº 06/10 do



IBAMA, para uma maior efetividade dos ensaios de análise de gases e poluentes e ela definiu ainda:

- A velocidade angular de marcha lenta deverá estar na faixa de 600 a 1200 rpm e ser estável dentro de  $\pm 100$  rpm.
- A velocidade angular em regime acelerado de 2500 rpm deve ter tolerância de  $\pm 200$  rpm.

O anexo I da Resolução nº 418/09 também apresenta as seguintes definições importantes para a realização dos ensaios de análise de gases e poluentes:

**Marcha lenta:** regime de trabalho em que a velocidade angular do motor especificada pelo fabricante deve ser mantida durante a operação do motor sem carga e com os controles do sistema de alimentação de combustível, acelerador e afogador, na posição de repouso.

**Veículo bicomcombustível:** Veículo com dois tanques distintos para combustíveis diferentes, excluindo-se o reservatório auxiliar de partida.

**Veículo flex:** Veículo que pode funcionar com gasolina ou álcool etílico hidratado combustível ou qualquer mistura desses dois combustíveis num mesmo tanque.

### 3.6 REGULAMENTOS TÉCNICOS DO INMETRO

O INMETRO, autarquia federal vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC, anualmente realiza auditorias nos OIA, de acordo com as normas vigentes pertinentes ao sistema de qualidade, objetivando a melhoria contínua das questões técnicas e da gestão da qualidade destes organismos credenciados (IPT, 2007).

Para isto, o INMETRO (2012) recorre as seguintes portarias as quais estabelecem normas técnicas para instalação e fiscalização dos OIA e das Instaladoras Registradas:

- a) Portaria INMETRO/MDIC nº 91, de 12/03/2007. Regulamento Técnico da Qualidade para Registro do Instalador de Sistemas de Gás Natural Veicular em Veículos Rodoviários Automotores – RTQ-33;
- b) Portaria INMETRO nº 49, de 24/02/2010. Aprovar a revisão do Regulamento Técnico da Qualidade nº 37 – Inspeção de Segurança Veicular de Veículos Rodoviários Automotores com Sistemas de Gás Natural Veicular;

Um destaque desta portaria é o artigo 4.18, que esclarece a importância das instaladoras registradas se equipararem tecnologicamente com os fabricantes. Define “patamar tecnológico” como compatibilidade técnica declarada pelos fabricantes de veículos rodoviários automotores, através do estabelecimento de especificações técnicas, e pelos instaladores registrados, sob as suas inteiras responsabilidades, entre os sistemas de GNV instalados nos veículos rodoviários automotores, com os respectivos sistemas originais, quanto aos seguintes quesitos: integridade estrutural, desempenho, estabilidade, dirigibilidade, emissão de gases poluentes, opacidade e eletrônica;

- c) Portaria INMETRO/MDIC nº 417, de 22/11/2007. Aprovar o Regulamento Técnico de Qualidade de Componentes para Instalação do Sistema para Gás Natural Veicular;
- d) Portaria INMETRO/MDIC nº 171, de 28/08/2002. Estabelecer que os cilindros para alta pressão e armazenamento de GNV como combustível, a bordo de veículos automotores de fabricação nacional ou importado, para comercialização no país, deverão ser compulsoriamente certificados no âmbito do Sistema Brasileiro de Avaliação de Conformidade – SBAC;
- e) Portaria INMETRO/MDIC nº 257, de 30/12/2002. Estabelecer o mecanismo de avaliação da conformidade para componentes do sistema para gás natural veicular;
- f) Portaria INMETRO/MDIC nº 190, de 10/12/2003. Estabelecer que o selo gás natural veicular, que é de porte obrigatório do veículo rodoviário automotor que utiliza essa modalidade de propelente, deverá, quando da aprovação técnica da inspeção de segurança veicular, ser aplicado no para-brisa dianteiro do veículo ou entregue ao seu proprietário ou condutor, devendo, nesta última hipótese, ser o selo mantido junto aos documentos do veículo;
- g) Portaria INMETRO/MDIC nº 30, de 22/01/2004. Estabelecer que as inspeções de segurança veicular, executadas por entidades credenciadas pelo Inmetro, devem ser feitas de acordo com os requisitos estabelecidos nos Regulamentos Técnicos da Qualidade do Inmetro “Inspeção de veículos rodoviários automotores – modificação ou fabricação artesanal” (RTQ-24) e “Inspeção de veículos rodoviários rebocados com PBT até 7.500 N – modificação ou fabricação artesanal” (RTQ-25);

- h) Portaria INMETRO/MDIC nº 110, de 13/06/2005. Aprovar o Regulamento de Avaliação da Conformidade (RAC) para empresa de instalação de sistema de abastecimento de GNV em postos de abastecimento;
- i) Portaria INMETRO/MDIC nº 111, de 13/06/2005. Aprovar o Regulamento de Avaliação da Conformidade (RAC) para empresa de comissionamento de sistema de abastecimento de GNV em postos de abastecimento;
- j) Portaria INMETRO/MDIC nº 104, de 18/04/2006. As inspeções de segurança dos veículos rodoviários, realizadas por Organismo de Inspeção de Segurança Veicular Acreditado (OIA-SV) ou por Entidade Técnica Pública ou Paraestatal (ETP), após as instalações dos sistemas de gás natural, devem ser feitas de acordo com os requisitos estabelecidos no Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-37), anexo a Portaria 49/2010 do INMETRO.

Tanto as Oficinas Instaladoras de Sistema de Gás Veicular Registradas pelo INMETRO como os Organismos de Inspeção de Segurança Veicular Acreditado (OIA-SV), são fiscalizadas anualmente pelo INMETRO numa verificação *in loco* de que seus procedimentos da Qualidade Técnica e de Gestão da qualidade são rotineiros, isto é, há garantia de melhoria contínua dos serviços prestados diariamente aos clientes, segundo os critérios técnicos estabelecidos.

Os OIA-SV passam ainda, a cada quatro anos, por uma auditoria mais criteriosa para se verificar se as normas técnicas são seguidas e o sistema da qualidade é operante na empresa, permitindo assim uma nova renovação contratual do seu credenciamento frente ao INMETRO por mais quatro anos.



## 4 MÉTODO DA PESQUISA

### 4.1 FLUXOGRAMA DAS ETAPAS

Após os estudos teóricos sobre poluição atmosférica, medição e controle de poluentes veiculares, bem como padrões estabelecidos, foi iniciada a pesquisa para a análise dos mais de 25.000 processos de inspeção dos veículos que tiveram suas características originais de fábrica alteradas pelos seus proprietários, nas quatro ITL da Grande Florianópolis entre os anos 2010 e 2011.

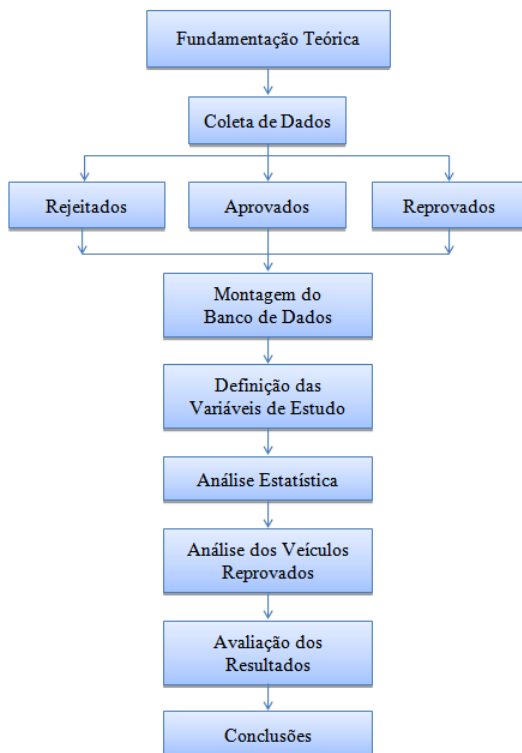
Foram vistos um a um, os processos dos veículos modificados, veículos que sofreram sinistros e também, foco deste estudo, os processos dos veículos leves adaptados com o *kit* GNV nas oficinas registradas pelo INMETRO.

Foram filtrados os processos dos veículos convertidos ao GNV, que constituem a grande maioria dos veículos inspecionados neste período. Importante realçar que os veículos convertidos, tiveram não só a adaptação do *kit* GNV inspecionada, mas toda a sua estrutura veicular como: freios, suspensão, iluminação, etc., e por último um ensaio de gases e poluentes emitidos pelo escapamento do motor destes veículos, totalizando assim uma amostra para esta pesquisa de 18.687 processos.

Esta grande quantidade de dados foi obtida das ITL a partir do teste estacionário; em marcha lenta (ML) do motor e em marcha acelerada (MA) do motor, obtendo-se assim a análise de gases e poluentes em ambos os combustíveis (principal ou líquido e GNV), conforme a padronização dos limites dos poluentes principais HC<sub>c</sub> e CO<sub>c</sub> da atual Resolução n°418/09 do CONAMA. Os relatórios das inspeções realizadas foram recolhidos e arquivados em planilhas Excel para análise posterior dos mesmos.

A Figura 4.1 a seguir ilustra com um fluxograma as principais etapas desta pesquisa:

Figura 4.1 - Fluxograma das Etapas da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2013).

Na primeira análise de refino destes dados, chegou-se a um número menor de dados, em torno de 17.578 relatórios, pois foram observados relatórios de inspeções não completadas (por desistência do cliente ou reprovações de seus veículos) e também outros tipos de inspeções que não as de conversão para o gás natural. Nestes relatórios, se destacam pela consistência os dados relativos aos poluentes principais  $HC_c$  e o  $CO_c$ .

Após refinamento e caracterização dos dados, foram utilizadas ferramentas estatísticas de forma a possibilitar conclusões sobre a população.

## 4.2 COLETA DOS DADOS

Os dados pesquisados dos relatórios de inspeção de gases e poluentes são referentes aos anos de 2010 e 2011, e representam as medições das concentrações dos gases poluentes expelidos pelo escapamento dos veículos leves convertidos inicialmente para uso do GNV em oficinas registradas pelo INMETRO. As inspeções (iniciais e periódicas) foram realizadas nas quatro ITL credenciadas pelo INMETRO na Grande Florianópolis, denominadas no estudo pelas letras A, B, C e D.

Os dados resultantes da inspeção veicular são armazenados nas ITL em processos físicos completos e em meio eletrônico em bancos de dados administrados por empresas especializadas chamadas de Unidade de Gestão de Certificados (UGC), devidamente homologadas pelo Denatran e contratadas pelas ITL.

Para obter-se a autorização de acesso aos dados (em torno de 18.678 relatórios de inspeções periódicas e iniciais de GNV realizadas em dois anos), foi elaborado e assinado um termo de compromisso de sigilo, entregue para cada uma das ITL participantes. Após autorização de cada uma delas, pode-se então proceder à solicitação dos dados às UGC responsáveis pelos bancos de dados.

Os bancos de dados armazenados pelas UGC possuem algumas limitações, pois os dados dos ensaios de emissão de poluentes dos veículos reprovados foram sobrescritos quando da inspeção de retorno, após a manutenção do veículo, quando geralmente os veículos são aprovados. Sendo assim, para levantar as medições dos poluentes da 1ª inspeção dos veículos reprovados houve a necessidade de revisitar os processos físicos um a um.

O processo físico é constituído pela Ordem de Serviço (OS), documentos do carro e do proprietário, além de documentos sobre a empresa instaladora do *kit* GNV, e do relatório de análise de gases e poluentes (ver Anexo I). O relatório completo possui informações completas sobre o veículo e o resultado da inspeção, incluindo a verificação dos sistemas mecânicos, itens de segurança e a medição dos gases e poluentes, no combustível líquido e no combustível gasoso.

Para cada um dos processos físicos Reprovados ou Rejeitados, foram separadas e copiadas as Ordens de Serviço e resultados da análise de gases. Os dados dos processos físicos foram então digitados, unidos com os dados dos veículos aprovados em primeira inspeção (oriundo das UGC) e foi montada uma base de dados completa em uma tabela Excel, o que possibilitou uma série de análises, totalizando uma amostra

filtrada de aproximadamente 17.578 relatórios de análise de gases e poluentes, incluídos veículos aprovados, reprovados e rejeitados.

Considerando a confiabilidade dos dados disponíveis referentes às emissões veiculares, definiu-se a seguinte lista das oito variáveis a serem estudadas neste trabalho, centradas nos dois poluentes principais  $\text{CO}_c$  e  $\text{HC}_c$ , poluentes estes com os parâmetros definidos na Resolução nº 418 do CONAMA via PROCONVE Fase L4. Foram considerados também nestas 8 variáveis os dois tipos de combustível, ou seja, o combustível líquido ou combustível principal (CP) e o combustível GNV, ambos testados nos ensaios de gases e poluentes nas rotações em marcha lenta (ML) do motor e em marcha acelerada (MA) do motor, assim são descritas:

- CP  $\text{HC}_c$  ML: concentração de  $\text{HC}_c$  na utilização de combustível principal (líquido) em marcha lenta;
- CP  $\text{HC}_c$  MA: concentração de  $\text{HC}_c$  na utilização de combustível principal (líquido) em marcha acelerada;
- GNV  $\text{HC}_c$  ML: concentração de  $\text{HC}_c$  na utilização de combustível gasoso (GNV) em marcha lenta;
- GNV  $\text{HC}_c$  MA: concentração de  $\text{HC}_c$  na utilização de combustível gasoso (GNV) em marcha acelerada;
- CP  $\text{CO}_c$  ML: concentração de  $\text{CO}_c$  na utilização de combustível principal (líquido) em marcha lenta;
- CP  $\text{CO}_c$  MA: concentração de  $\text{CO}_c$  na utilização de combustível principal (líquido) em marcha acelerada;
- GNV  $\text{CO}_c$  ML: concentração de  $\text{CO}_c$  na utilização de combustível gasoso (GNV) em marcha lenta;
- GNV  $\text{CO}_c$  MA: concentração de  $\text{CO}_c$  na utilização de combustível gasoso (GNV) em marcha acelerada.

#### 4.3 MÉTODOS E FERRAMENTAS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA

No estudo realizado verificou-se que na maior parte da bibliografia consultada, as pesquisas sobre emissões são realizadas em laboratórios, utilizando-se, ou uma amostra muito pequena de veículos ou amostra de um único motor ou veículo, focando principalmente no efeito da variação das condições de operação nas emissões dos poluentes em função do teste realizado ser do tipo dinâmico ou estacionário. Nas poucas publicações encontradas em português, dados quantitativos são apresentados sobre a emissão de poluentes veiculares, porém sem



especificar a natureza estatística dos mesmos bem como as suas possíveis causas mecânicas originárias.

Inicialmente, deve-se verificar a consistência dos dados da amostra e suas principais características.

#### **4.3.1 Verificação dos Dados Atípicos (*outliers*)**

De acordo com Ribas e Vieira (2011), a informação de qualidade constitui a viga mestra que alicerça a excelência dos resultados da pesquisa científica. É indispensável que seja realizada uma exploração inicial dos dados para verificar se há falta de observações ou casos atípicos, se as hipóteses associadas à ferramenta escolhida foram adequadamente atendidas, bem como identificar se os eventuais afastamentos das condições ideais poderão comprometer seriamente os resultados da análise.

É possível que sejam identificados valores excessivamente reduzidos ou elevados que são, usualmente, denominados *outliers*, os quais podem distorcer substancialmente os resultados. Eles podem ser causados por registro (lançamento) equivocado do dado ou podem estar presentes no fenômeno estudado, embora não tenham sido antecipados pelo pesquisador (RIBAS; VIEIRA, 2011).

Convém observar que amostras grandes podem, eventualmente, exibir observações que aparentemente são atípicas, mas que não são essencialmente *outliers*. De fato, à medida que a amostra aumenta, é ampliada a chance de serem incluídos casos extremos que constituem observações legítimas da população, não sendo, dessa maneira, necessária, nem recomendada a sua remoção (RIBAS; VIEIRA 2011).

No presente trabalho, esse exame inicial foi conduzido com análise das estatísticas descritivas de todas as variáveis, utilizando-se um *software* aplicativo científico (programa de computador) chamado *Statistical Package for the Social Sciences for Windows - SPSS*, isto é, um *software* para análise estatística de dados, utilizando-se menus e janelas de diálogo, que permite realizar cálculos complexos e visualizar seus resultados (GUIMARÃES, 2013).

Inicialmente, fez-se a transformação das oito variáveis quantitativas de estudo para escores padronizados, iniciando-se com média zero e desvio padrão 1, com a intenção de procurar valores menores que -3, -4, -5 ou maiores que +3, +4, +5. Caso esses valores existam, há um indicativo que tais valores podem ter sido digitados incorretamente e deve-se analisar a necessidade de proceder a correção.

Nesta análise, para a primeira das variáveis, através de filtragens, não foram encontrados dados inferiores a -3. Por outro lado, foram encontrados 123 valores superiores a +3, 102 valores superiores a +4 e 82 valores superiores a +5. Sendo esta quantidade muito grande, provavelmente não provém de erros de digitação, devendo estar presentes no fenômeno estudado.

Após todos os testes e filtragens realizados com todas as 8 variáveis e visualização total dos dados contendo todas as frequências, para busca de elementos que pudessem estar muito afastados um dos outros, chegou-se a uma particularidade em termos de distribuição, ou seja, os dados se alongam para a direita, com valores muito maiores que a média.

Conclui-se por fim o que o alongamento das distribuições para a direita mostrou-se ser uma característica destas variáveis estudadas, explicado pelo fato que certos veículos realmente emitem quantidades muito altas de poluentes, em especial os mais antigos. Outro aspecto a considerar é do princípio garantido pelas normas do INMETRO de que os dados foram obtidos de equipamentos calibrados. Conclui-se, assim, como improvável a presença significativa de *outliers* nos dados apresentados.

#### 4.3.2 Testes Estatísticos de Aderência

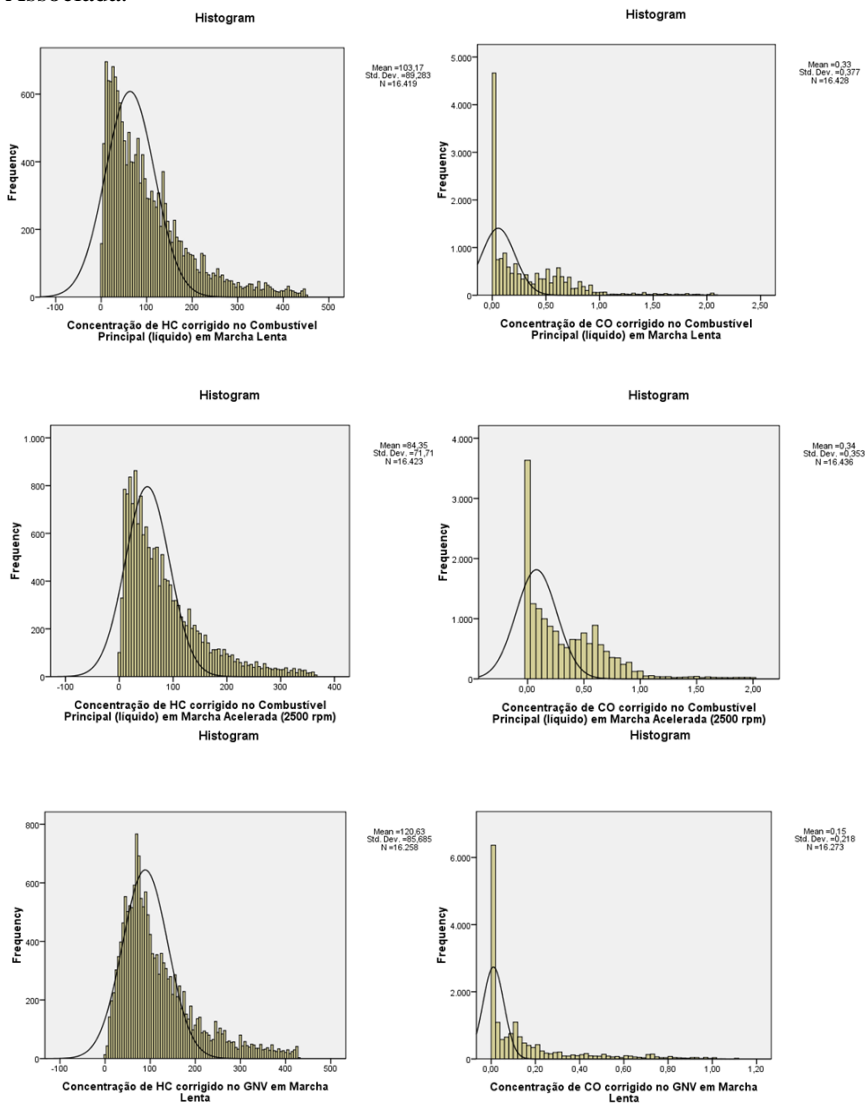
A distribuição de uma variável quantitativa registra seus valores numéricos e a frequência de ocorrência de cada valor onde a melhor maneira de representar uma distribuição é graficamente. Em virtude do tamanho da amostra ser muito grande, a forma gráfica que melhor pode representar estas distribuições das variáveis é a utilização do gráfico tipo histograma<sup>9</sup>.

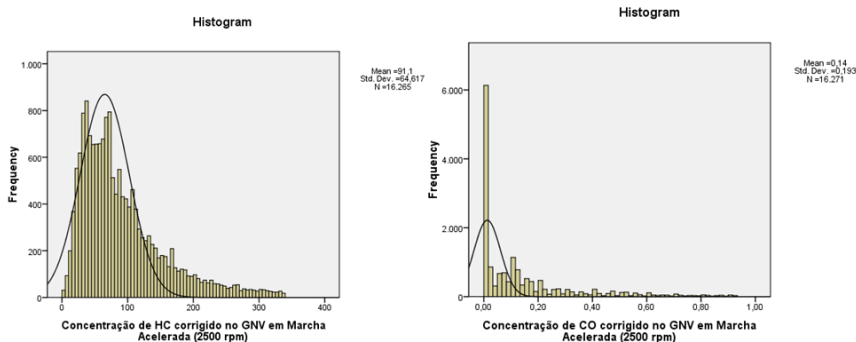
Seguem os histogramas de todas as oito variáveis, com a tentativa inicial de determinar a aderência com a curva normal, sendo as unidades do HC<sub>c</sub> em (ppm) e o CO<sub>c</sub> em (% volume). Para melhor visualização das formas na apresentação dos gráficos, eliminou-se dos dados os 5% valores mais altos. Para as análises estatísticas posteriores foram utilizados todos os dados.

---

<sup>9</sup> Histograma é um gráfico que mostra a distribuição de frequência ou de frequência relativa entre os valores de uma única variável (MOORE, 2002 apud FERNANDES 2009).

Figura 4.2 - Histogramas das Oito Variáveis, com Curva Normal Associada.





É importante definir em que tipo de distribuição estatística os dados se enquadram, para posteriormente identificar o tipo de teste que pode ser utilizado para tirar as conclusões do estudo (BRAVIANO et al 2005).

Inicialmente, testou-se a aderência de cada conjunto de dados associados às oito variáveis com a distribuição Normal. Para tanto, utilizou-se o teste Kolmogorov-Sminorv.

Todos os oito testes (de cada uma das variáveis) concluíram com probabilidade de significância<sup>10</sup>  $p < 0,001$ , que os dados não seguem a distribuição Normal, o que também pode ser facilmente percebido nos histogramas apresentados anteriormente. Isso significa que não é possível utilizar nas análises comparativas, testes paramétricos (por exemplo, o teste “t” para dois grupos de amostras ou os testes de ANOVA – Análise de Variância, para testar diferenças entre diversas situações e para 2 ou mais variáveis).

O teste de Kolmogorov-Sminorv apresentou o mesmo resultado na tentativa de aderência às distribuições do tipo Uniforme, Poisson e Exponencial.

Sendo assim, foi necessário utilizar nas análises estatísticas somente testes de hipóteses não paramétricos.

<sup>10</sup> Significado de “provavelmente verdadeiro” e, portanto, não resultante de uma situação aleatória. Quando o teste estatístico diz que um resultado é “altamente significativo”, isto significa que a hipótese que está sendo testada é muito provavelmente verdadeira (BARBETA, 2012).

### 4.3.3 Testes de Hipóteses

Para conseguir respostas adequadas aos objetivos específicos determinados no início desta pesquisa, foi elaborado um conjunto de hipóteses acerca da amostra aqui estudada e utilizaram-se testes estatísticos específicos (não paramétricos) para confirmá-las ou não, por meio da inferência estatística.

Inferir estatisticamente significa decidir se uma hipótese é verdadeira ou não, baseando-se em métodos que levam em conta incertezas e variações provenientes das amostras. Existe, portanto, uma probabilidade de erro associada à decisão, que pode ser minimizada em função do modelo estatístico usado para realizar a análise de dados (BRAVIANO et al, 2005).

Para tanto, algumas premissas foram definidas:

- Os testes das concentrações de  $\text{HC}_c$  devem ser feitos somente com os dados de 2011, pois até 2010 somente media-se o  $\text{HC}$ , sem a correção;
- Os testes das concentrações de  $\text{CO}_c$  devem ser feitos com os dados completos, isto é, 2010 e 2011;
- Os testes das hipóteses devem ser filtrados de acordo com as fases de redução dos poluentes do PROCONVE em função dos anos de fabricação dos veículos, visando não influenciar seus resultados conclusivos, excetuando-se as hipóteses 1 e 2. Portanto, cada uma das hipóteses foi testada 5 vezes, para cada um dos conjunto de veículos com das de fabricação nas seguintes faixas:
  - Fase L1: veículos fabricados até 1991
  - Fase L2: veículos fabricados entre 1992 a 1996
  - Fase L3: veículos fabricados entre 1997 a 2004
  - Fase L4: veículos fabricados entre 2005 a 2008
  - Fase L5: veículos fabricados entre 2009 a 2011

A seguir são apresentadas as hipóteses, as observações para a realização dos testes e a indicação de qual teste melhor se enquadrou para cada caso.

1) **Hipótese 1:** veículos mais antigos (fabricados até 1996) emitem maior concentração de poluentes  $\text{HC}_c$  (% vol) que os veículos novos (a partir de 1997).

**Observações:** A hipótese foi testada duas vezes: em marcha lenta (ML) e marcha acelerada (MA) do motor.

**Teste utilizado:** teste não paramétrico de Mann-Whitney, indicado para amostras independentes (não pareadas).

2) **Hipótese 2:** veículos mais antigos (fabricados até 1996) emitem maior concentração de poluentes  $\text{CO}_c$  (% vol) que os veículos novos (a partir de 1997).

**Observações:** A hipótese foi testada duas vezes: em marcha lenta (ML) e marcha acelerada (MA) do motor.

**Teste utilizado:** idem hipótese 1

3) **Hipótese 3:** existe diferença entre as concentrações de  $\text{HC}_c$  nas diferentes marcas de veículos.

**Observações:**

- A hipótese foi testada duas vezes: em marcha lenta (ML) e marcha acelerada (MA) do motor.
- A caracterização dos dados demonstrou uma grande dispersão dos dados em relação à marca, sendo que uma grande quantidade de marcas tem uma frequência muito pequena, comparadas a determinadas marcas de tradição maior. Para não incorrer em erros grosseiros de comparação entre as marcas, optou-se por comparar os resultados entre as quatro de maior frequência, a saber: GM, FORD, FIAT e VW.

**Testes utilizados:**

- Como as distribuições das variáveis não são Normais, não são indicados testes paramétricos para comparar as emissões entre as quatro marcas;
- Utilizou-se, para testar esta hipótese, a Análise de Variância de Kruskal-Wallis, não paramétrica. O teste de Kruskal-Wallis é uma extensão do teste de Mann-Whitney. É um teste não paramétrico utilizado para comparar três ou mais amostras, no caso as marcas dos veículos;
- Também foi realizado o Teste da Mediana, que confirma os resultados do teste acima descrito. Para detalhar quais são estas diferenças, foram realizados testes entre as marcas, duas a duas (Teste não paramétrico de Mann-Whitney).

4) **Hipótese 4:** existe diferença entre as concentrações de  $\text{CO}_c$  nas diferentes marcas de veículos.

**Observações:** A hipótese foi testada duas vezes: em marcha lenta (ML) e marcha acelerada (MA) do motor.

**Testes utilizados:** Idem hipótese 3

**5) Hipótese 5:** a concentração de  $\text{HC}_c$  nos testes com combustível líquido é diferente da concentração no combustível gasoso (GNV). Se sim, é maior ou menor?

**Observações:** A hipótese foi testada duas vezes: em marcha lenta (ML) e marcha acelerada (MA) do motor.

**Teste utilizado:** o teste de Wilcoxon pareado, não paramétrico, é utilizado para comparar se as medidas de posição de duas amostras são iguais no caso em que as amostras são dependentes aos pares.

**6) Hipótese 6:** a concentração de  $\text{CO}_c$  nos testes com combustível líquido é diferente da concentração no combustível gasoso (GNV). Se sim, é maior ou menor?

**Observações:** A hipótese foi testada duas vezes: em marcha lenta (ML) e marcha acelerada (MA) do motor.

**Teste utilizado:** Idem hipótese 5

**7) Hipótese 7:** a concentração de  $\text{HC}_c$  em rotação marcha lenta (ML) do motor no combustível principal ou líquido é diferente em rotação acelerada (MA) deste mesmo combustível. Se sim, é maior ou menor?

**Teste utilizado:** Idem hipótese 5

**8) Hipótese 8:** a concentração de  $\text{HC}_c$  em rotação marcha lenta (ML) do motor no combustível gasoso ou GNV é diferente em rotação acelerada (MA) deste mesmo combustível. Se sim, é maior ou menor?

**Teste utilizado:** Idem hipótese 5

**9) Hipótese 9:** a concentração de  $\text{CO}_c$  em rotação marcha lenta (ML) do motor no combustível principal ou líquido é diferente em rotação acelerada (MA) deste mesmo combustível. Se sim, é maior ou menor?

**Teste utilizado:** Idem hipótese 5

**10) Hipótese 10:** a concentração de  $\text{CO}_c$  em rotação marcha lenta (ML) do motor no combustível gasoso ou GNV é diferente em rotação acelerada (MA) deste mesmo combustível. Se sim, é maior ou menor?

**Teste utilizado:** Idem hipótese 5

#### 4.4 COMPARAÇÃO DA AMOSTRA COMPLETA COM A AMOSTRA DOS VEÍCULOS REPROVADOS

Para complementar a análise feita a partir dos testes de hipóteses, foi realizado um estudo comparativo entre a amostra completa tendo 17.578 processos (utilizada na análise estatística) e os dados dos veículos reprovados, 848 processos (base de dados gerada a partir da digitação dos processos físicos).

Considerando que ambas as amostras são grandes, é de se esperar que se comportem de maneira análoga, a não ser que algum fator influencie a reprovação dos veículos.

Este estudo foi baseado em percentuais de aprovação e reprovação dos veículos na emissão dos diversos poluentes e visa ilustrar e reforçar a análise estatística realizada, conforme será visto no capítulo 5 a seguir.



## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

As quatro ITL da Grande Florianópolis realizaram juntas, entre 2010 e 2011, 25.446 inspeções de veículos leves que tiveram suas características originais de fábrica modificadas segundo aspectos estéticos, econômicos e/ou de prestação de serviço. Destes, 18.678 veículos sofreram modificação de suas características pela instalação do *kit* GNV, ou seja, 73% do total inspecionado. Dos veículos inspecionados, 6.045 veículos (32%) foram reprovados na primeira inspeção, em um ou mais dos aspectos verificados: segurança do veículo, inspeção visual, teste de emissões de poluentes. Destes, 849 (5%) foram reprovados especificamente nos testes de emissão de gases e poluentes.

Após o trabalho de coleta dos dados, que incluiu os dados oriundos das UGC, os dados digitados (reprovados e rejeitados em primeira inspeção), tabulação e limpeza dos dados, foi considerada neste trabalho uma amostra de 17.578 registros de emissão de gases e poluentes veiculares. A caracterização desta amostra é apresentada a seguir.

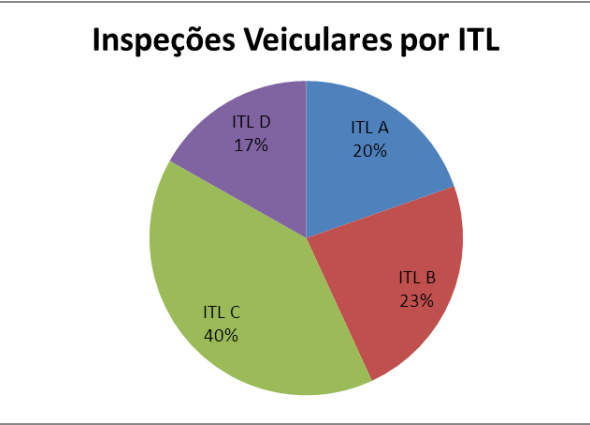
A Tabela 5.1 mostra a distribuição dos dados por ITL, por ano em que foram realizadas as inspeções, bem como o número total de inspeções nos dois anos da pesquisa.

Tabela 5.1 - Número de inspeções de análise de gases poluentes realizadas pelas ITL na Grande Florianópolis, em 2010 e 2011.

ITL	2010	2011	TOTAL	%
ITL A	1512	1941	3453	20%
ITL B	2383	1743	4126	23%
ITL C	3711	3331	7042	40%
ITL D	1731	1226	2957	17%
<b>TOTAL</b>	<b>9337</b>	<b>8241</b>	<b>17578</b>	<b>100%</b>

A Figura 5.1 representa as inspeções veiculares de GNV realizadas nas quatro ITL, com destaque para a ITL C pelo maior número de inspeções, devido ao fato de ser também a mais antiga, desde 1992, neste tipo de serviço em todo o Estado de Santa Catarina.

Figura 5.1 - Distribuição do total de inspeções realizadas na Grande Florianópolis, em função da ITL.



Na Tabela 5.2 verifica-se, para cada ITL, o número de inspeções (de gases e poluentes) realizadas e seus resultados: aprovados, rejeitados e reprovados.

Tabela 5.2 - Resultados das inspeções de análise de gases e poluentes realizadas pelas ITL na Grande Florianópolis, em 2010 e 2011.

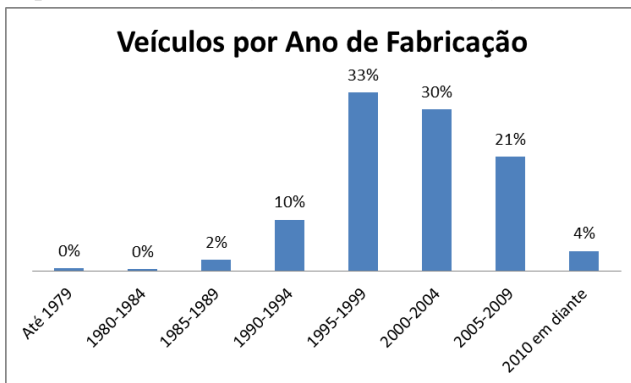
ITL	APROVADOS	% APRO	REPROVADOS	% REPRO	REJEITADOS	% REJ	TOTAL
ITL A	3298	96%	147	4%	8	0%	3453
ITL B	3936	95%	68	2%	122	3%	4126
ITL C	6650	94%	386	5%	6	0%	7042
ITL D	2707	92%	247	8%	3	0%	2957
TOTAL	16591	94%	848	5%	139	1%	17578

Ressalta-se que a proporção apresentada acima se refere somente aos veículos que foram aprovados e reprovados na análise de gases poluentes, excluindo-se os veículos reprovados por outros motivos de segurança veicular e também aqueles por problemas no motor (falhas de rotação, funcionamento, etc.) ou problemas no escapamento dos gases, sendo assim rejeitados pelo próprio sistema e foram impedidos de realizar o teste de análise de poluentes final.

Na Figura 5.2 observa-se o percentual dos veículos inspecionados em função do ano de fabricação destacando-se nas pesquisas destes dois anos, que a maior parte dos veículos inspecionados foi fabricada entre os anos de 1995 e 2004, época em que o valor do gás veicular era muito

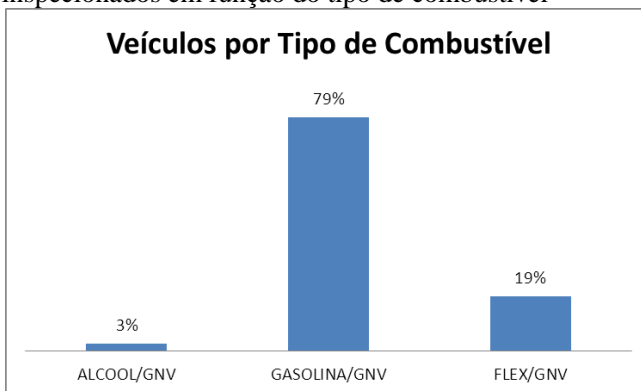
competitivo frente aos combustíveis líquidos e bem como incentivos do governo eram dados para as pessoas que utilizavam o GNV como alternativa energética veicular.

Figura 5.2 - Distribuição do total de veículos inspecionados em função do ano de fabricação.



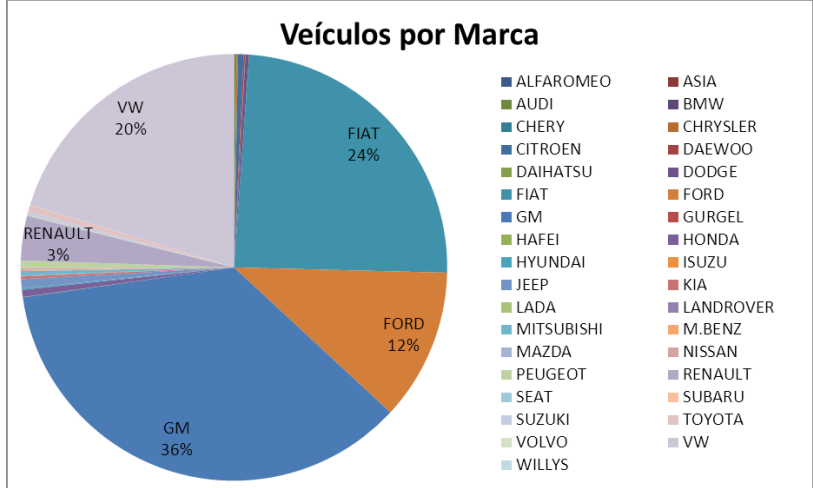
A Figura 5.3, demonstra que a maioria dos veículos inspecionados tinha como combustível líquido a gasolina e em segundo lugar os bicomcombustíveis conhecidos por veículos tipo *flex* e um percentual bem menor, os veículos movidos somente a álcool/etanol.

Figura 5.3 - Distribuição do total de veículos inspecionados em função do tipo de combustível



A Figura 5.4 destaca nas inspeções realizadas os tipos de marcas de veículos inspecionados. Um destaque deve ser dado à proporção das quatro maiores: GM, FIAT, VW e FORD, que concentram, juntas, 92% dos veículos inspecionados.

Figura 5.4 - Distribuição do total de veículos inspecionados em função do fabricante.

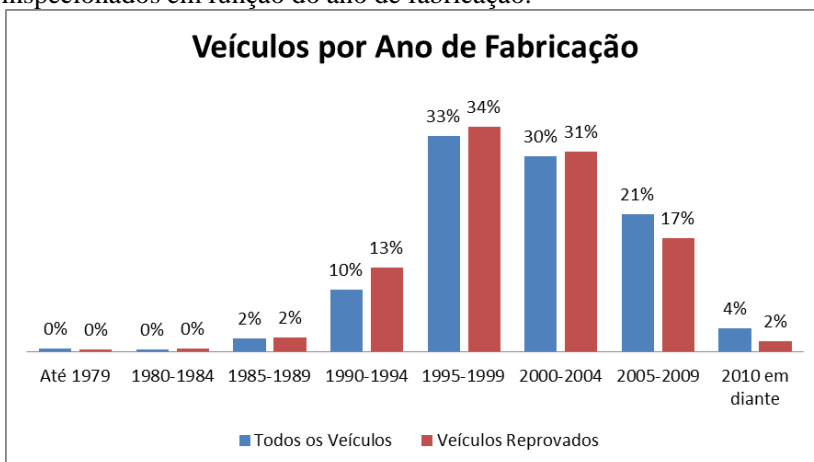


5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS VEÍCULOS REPROVADOS

A comparação entre a base de dados completa e a base contendo somente os veículos reprovados traz algumas indicações que serão analisadas mais profundamente na análise estatística dos resultados, item 5.3, a ser visto posteriormente.

Na Figura 5.5 apresenta-se a distribuição dos dados completos e dos dados dos veículos reprovados segundo o ano de fabricação do veículo. Nota-se que existe uma porcentagem menor de veículos novos (2006 em diante) na amostra dos “reprovados” do que na amostra completa.

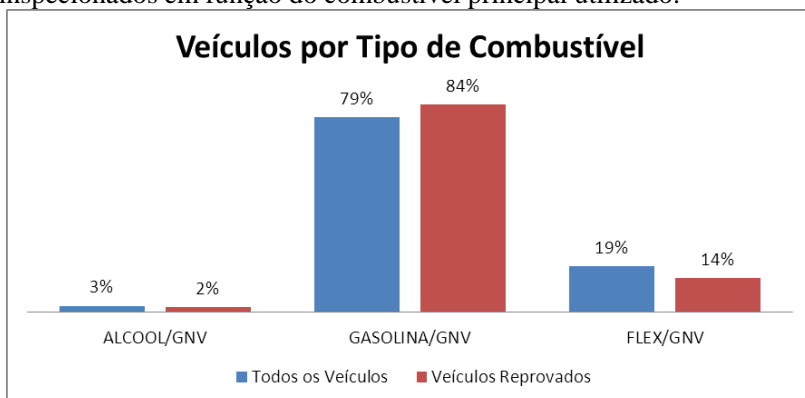
Figura 5.5 - Comparação entre as amostras de “todos os veículos” e “veículos reprovados”, para a distribuição do total de veículos inspecionados em função do ano de fabricação.



Estes veículos novos (fabricados de 2006 em diante) já se encontram adaptados à fase L-4 do PROCONVE (limites mais restritivos dos poluentes, a partir de 1º janeiro de 2005) e por conta disso possuem motores com novas tecnologias como: otimização da geometria da câmara de combustão e dos bicos de injeção, aumento da pressão da bomba injetora e injeção eletrônica, resultando assim em menores emissões de poluentes. Além disso, a utilização dos *kits* de GNV de 3ª geração, com motor de passo ou atuador – que é instalado antes do mesclador ou redutor de pressão – é responsável pelo ajuste da razão ar-gás (que varia com a rotação e carga do motor), através do sinal vindo da sonda lambda, resultando em menores emissões de poluentes.

Em relação ao tipo de combustível, é interessante notar que na amostra dos “reprovados” é maior a porcentagem dos veículos à gasolina do que na amostra completa (Figura 5.6), embora as diferenças sejam pequenas. Observou-se que nas inspeções dos veículos bicombustíveis (*flex*), muitas vezes não era registrado com qual o combustível líquido era feito o ensaio de análise de gases, dando assim esta pequena distorção vista abaixo.

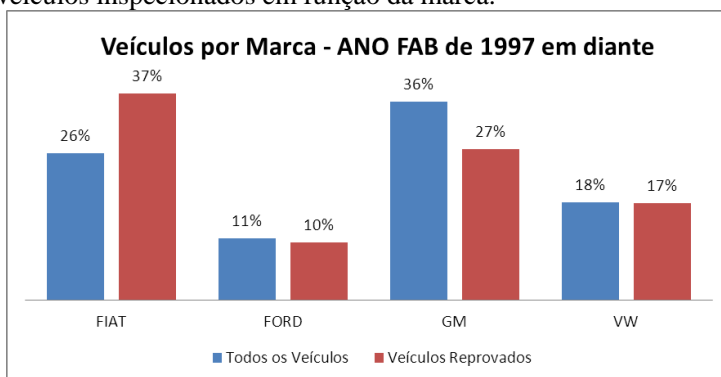
Figura 5.6 - Comparação entre as amostras de “todos os veículos” e “veículos reprovados”, para a distribuição do total de veículos inspecionados em função do combustível principal utilizado.



Uma diferença considerável aparece quando se compara a amostra dos “reprovados” e a amostra completa no que se refere à marca dos veículos inspecionados.

Na amostra completa, a porcentagem de veículos da marca GM é maior do que na amostra dos “reprovados”. E o contrário acontece com a marca FIAT (Figura 5.7). Nesta comparação, foram utilizados somente os veículos com ano de fabricação acima de 1997 (Fase L-3 do PROCONVE), para evitar a influência do fator “atualização de tecnologia” na comparação.

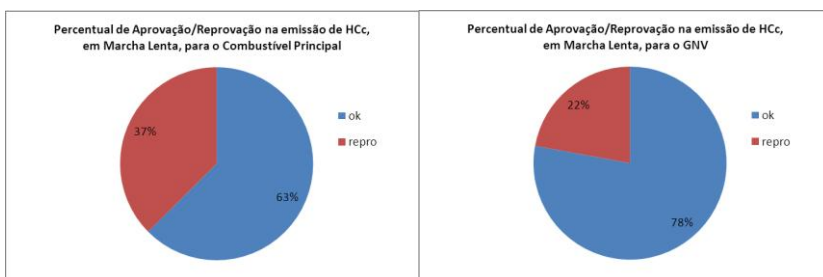
Figura 5.7 - Comparação entre as amostras de “todos os veículos” e “veículos reprovados”, para a distribuição do total de veículos inspecionados em função da marca.



Verificando os dados dos veículos em busca do motivo da reprovação, pode-se analisar os gráficos que comparam para cada estágio da inspeção, a aprovação/reprovação dos veículos utilizando o combustível principal e o GNV.

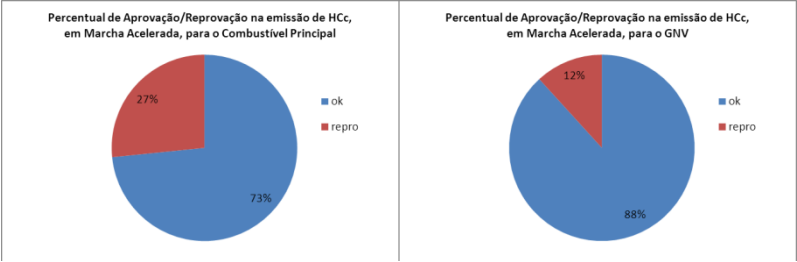
Comparando os gráficos das Figuras 5.8 a 5.11, é interessante observar que em todos os ensaios, os poluentes principais analisados ( $HC_c$  em marcha lenta,  $HC_c$  em marcha acelerada,  $CO_c$  em marcha lenta e  $CO_c$  em marcha acelerada) o percentual de reprovação dos veículos com combustível líquido é maior do que no uso do GNV.

Figura 5.8 - Percentual de aprovação/reprovação dos veículos na emissão de  $HC_c$  em marcha lenta (combustível principal versus GNV).



Nota-se também que em todos os casos, o mesmo ensaio de poluente HC<sub>c</sub> realizado em marcha lenta (Figura 5.8), reprova mais do que em marcha acelerada (Figura. 5.9).

Figura 5.9 - Percentual de aprovação/reprovação dos veículos na emissão de HC<sub>c</sub> em marcha acelerada (combustível principal versus GNV).



Também se pode perceber que as porcentagens de reprovação nos ensaios que medem a concentração de CO<sub>c</sub> são maiores do que na medição do HC<sub>c</sub>, em ambos combustíveis, conforme Figuras de 5.8 a 5.11.

Figura 5.10 - Percentual de aprovação/reprovação dos veículos na emissão de CO<sub>c</sub> em marcha lenta (combustível principal versus GNV).

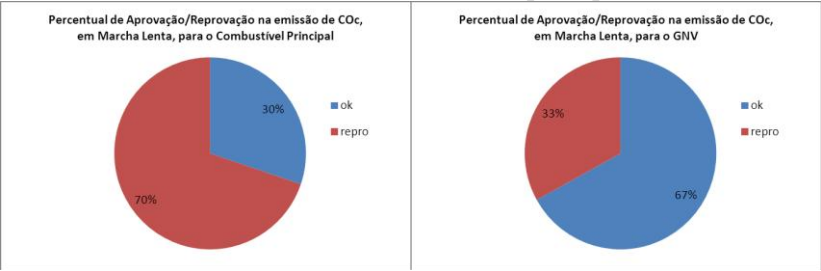
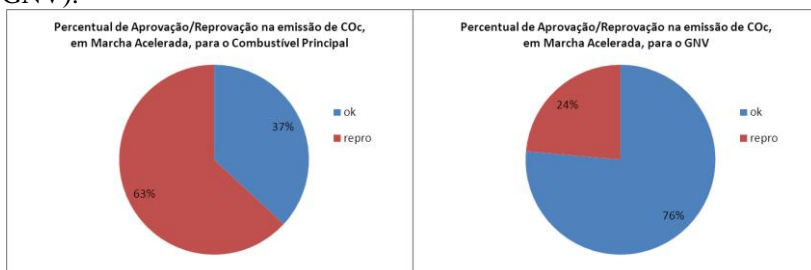




Figura 5.11 - Percentual de aprovação/reprovação dos veículos na emissão de CO<sub>c</sub> em marcha acelerada (combustível principal versus GNV).



Nota-se também que em todos os casos, o mesmo ensaio de poluente CO<sub>c</sub> realizado em marcha lenta (Figuras 5.10 e 5.11) reprovam mais do que em marcha acelerada.

Os resultados dos dados aqui apresentados serviram de base para a observância de tendências dos mesmos, a serem confirmadas estatisticamente, conforme metodologia especificada no Capítulo 4 deste trabalho.

### 5.3 RESULTADOS DAS HIPÓTESES

Conforme informado na seção anterior, foram levantadas 10 hipóteses para avaliar o comportamento das 8 variáveis com os dados totais das emissões da amostra e salientando os pontos de interesse maior para esta pesquisa, ou seja: tipo de combustível, ano de fabricação, marca do veículo e regimes diferentes de rotações do motor durante os ensaios de análise de gases e poluentes.

Todas as hipóteses tiveram seus resultados calcados em um nível mínimo de confiança de 95% como é usual na prática das confirmações estatísticas.

A seguir são apresentados os resultados dos testes estatísticos das hipóteses e em seguida as justificativas técnicas obtidas por meio da literatura e especialistas.

1. **Hipótese 1:** veículos mais antigos (até 1996) emitem maior concentração de poluente HC<sub>c</sub> que os veículos novos (a partir de 1997).

Foi utilizado o teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney, indicado para amostras independentes. A Tabela 5.3 apresenta os resultados dos testes para o combustível principal e GNV, em marchas lenta e acelerada.

Tabela 5.3 – Resultado do Teste Estatístico de Mann-Whitney, para a Concentração de HC<sub>c</sub>, comparando veículos antigos e novos

	Concentração de HC corrigido no Combustível Principal (líquido) em Marcha Lenta	Concentração de HC corrigido no Combustível Principal (líquido) em Marcha Acelerada (2500 rpm)	Concentração de HC corrigido no GNV em Marcha Lenta	Concentração de HC corrigido no GNV em Marcha Acelerada (2500 rpm)
Mann-Whitney U	2919621,5	3001146,5	3399824	3625394,5
Wilcoxon W	2,58E+07	2,60E+07	2,56E+07	2,59E+07
Z	-19,764	-19,194	-12,295	-9,52
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000

a. Grouping Variable: Ano de Fabricação

No teste, chegou-se a uma significância maior do que 99,9% ou seja, um  $p < 0,001$  (na tabela lê-se “Asymp. Sig.”), tanto para Marcha Lenta (ML) como para Marcha Acelerada (MA) do motor, no combustível principal e no GNV. Portanto, pode-se afirmar que em todas as situações há diferença significativa entre a emissão de HC<sub>c</sub> dos veículos mais antigos e dos veículos novos.

A Tabela 5.4 apresenta as concentrações médias de HC<sub>c</sub> para ambos os combustíveis testados e rotações do motor para os veículos fabricados antes de 1997 (mais antigos) e após 1997 (veículos mais novos):

Tabela 5.4 - Concentração média de HC<sub>c</sub> (ppm), para veículos antigos e novos

	Média - veículos ANO FAB <1997	Média - veículos ANO FAB >= 1997
Concentração de HC corrigido no Combustível Principal (líquido) em Marcha Acelerada (2500 rpm)	205,08	107,21
Concentração de HC corrigido no Combustível Principal (líquido) em Marcha Lenta	226,73	113,2
Concentração de HC corrigido no GNV em Marcha Lenta	224,51	150,72
Concentração de HC corrigido no GNV em Marcha Acelerada (2500 rpm)	170,36	121,63

Sendo assim, pode-se afirmar, analisando-se as Tabelas 5.3 e 5.4 que os veículos mais antigos (fabricados antes de 1997) emitem mais poluente HC<sub>c</sub> do que os veículos mais novos (fabricados a partir de 1997), tanto para o combustível líquido quanto para o gasoso, independente da rotação do motor.

**2. Hipótese 2:** veículos mais antigos (até 1996) emitem maior concentração de poluente CO<sub>c</sub> (% vol) que os veículos novos (a partir de 1997).

Foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney, indicado para amostras independentes.

Tabela 5.5 - Resultado do Teste Estatístico de Mann-Whitney, para a Concentração de CO<sub>c</sub>, comparando veículos antigos e novos

	Concentração de CO corrigido no Combustível Principal (líquido) em Marcha Lenta	Concentração de CO corrigido no Combustível Principal (líquido) em Marcha Acelerada (2500 rpm)	Concentração de CO corrigido no GNV em Marcha Lenta	Concentração de CO corrigido no GNV em Marcha Acelerada (2500 rpm)
Mann-Whitney U	1,57E+07	1,63E+07	1,54E+07	1,59E+07
Wilcoxon W	1,18E+08	1,19E+08	1,15E+08	1,16E+08
Z	-22,989	-20,898	-23,552	-21,51
Asymp. Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000

a. Grouping Variable: Ano de Fabricação

No teste, chegou-se a probabilidades de significância de 99,9% ou seja, um  $p < 0,001$  (na tabela lê-se “Asymp. Sig.”), tanto para Marcha Lenta como para Marcha Acelerada do motor, no combustível principal e no GNV.

A Tabela 5.6 a seguir apresenta as concentrações de CO<sub>c</sub> para ambos os combustíveis testados e as rotações do motor em Marcha Lenta e depois acelerado para os veículos antes de 1997 (mais antigos) e depois de 1997 (veículos mais novos):

Tabela 5.6 - Concentração média de CO<sub>c</sub> (% vol), para veículos antigos e novos

	Média - veículos ANO FAB < 1997	Média - veículos ANO FAB ≥ 1997
Concentração de CO corrigido no Combustível Principal (líquido) em Marcha Lenta	0,8549	0,4490
Concentração de CO corrigido no Combustível Principal (líquido) em Marcha Acelerada (2500 rpm)	0,8683	0,4797
Concentração de CO corrigido no GNV em Marcha Lenta	0,4314	0,2236
Concentração de CO corrigido no GNV em Marcha Acelerada (2500 rpm)	0,3516	0,2089

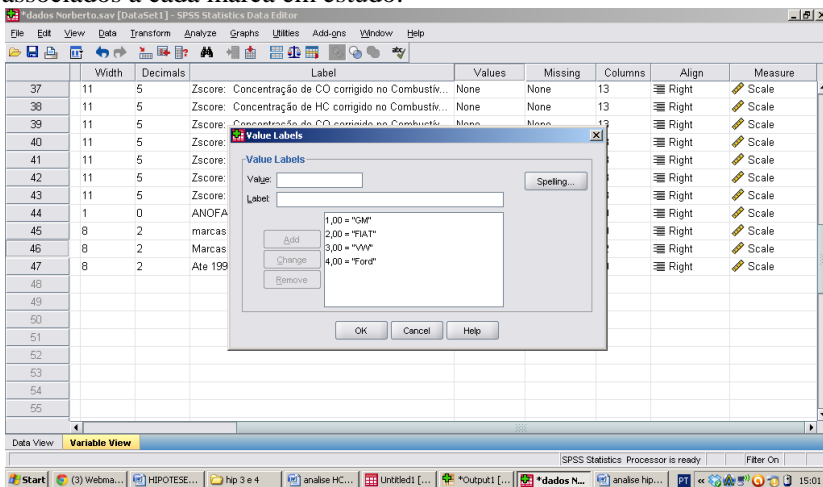
Portanto, assim como no HC<sub>c</sub>, em todas as situações, há diferença significativa entre a emissão de CO<sub>c</sub> dos veículos mais antigos e dos veículos novos. Pode-se afirmar, analisando as Tabelas 5.5 e 5.6 que os veículos mais antigos (fabricados antes de 1997) emitem mais poluentes CO<sub>c</sub> do que os veículos mais novos (fabricados a partir de 1997), tanto para o combustível líquido quanto para o gasoso, independente da aceleração.

3. **Hipótese 3:** existe diferença entre as concentrações de  $HC_c$  entre as diferentes marcas de veículos.

A caracterização dos dados demonstrou uma grande dispersão destes em relação à marca, sendo que uma grande quantidade de marcas tem uma frequência muito pequena, comparadas a determinadas marcas de tradição maior. Para não incorrer em erros grosseiros de comparação entre as marcas, optou-se por comparar os resultados entre as quatro de maior frequência, a saber, em ordem de pesquisa realizada: GM, FIAT, VW e FORD.

A Figura 5.12, a seguir, reúne em tela as marcas dos veículos nos ensaios de análise de gases e poluentes onde na tela menor são vistas as 4 marcas mais significativas, objeto maior deste trabalho:

Figura 5.12 - Tela do Programa SPSS Statistic, com os números associados a cada marca em estudo.



Como as distribuições das variáveis não são Normais, não foram usados testes paramétricos para comparar as emissões entre as quatro marcas. Assim, nem testes “t” são adequados, nem a Anova – Análise de Variância.

Procedeu-se, então, à Análise de Variância de Kruskal-Wallis, não paramétrica. O teste de Kruskal-Wallis (KW) é uma extensão do teste de Mann-Whitney. É um teste não paramétrico utilizado para comparar três ou mais amostras, no caso as marcas dos veículos.

Para as hipóteses 3 e 4, assim como para as seguintes, os dados foram analisados separando os veículos em faixas de acordo com o ano de fabricação. Foram definidas 5 faixas, conforme as fases do Proconve L1 a L5:

L1: veículos fabricados até 1991

L2: veículos fabricados entre 1992 a 1996

L3: veículos fabricados entre 1997 a 2004

L4: veículos fabricados entre 2005 a 2008

L5: veículos fabricados a partir de 2009 (a 2011)

A seguir a Tabela 5.7 apresenta os valores de “p” (probabilidade de significância) calculados para a hipótese 3, para cada uma das variáveis ligadas à emissão de HC<sub>c</sub>, para cada faixa de idade do veículo. Estão destacados em verde os casos onde o nível de confiança foi aceitável ( $p \leq 0,05$ ), e em vermelho os casos onde não se pode confirmar estatisticamente que a hipótese é verdadeira com 95% de confiança ( $p > 0,05$ ).

Tabela 5.7 - Resultado do Teste Estatístico de Kruskal-Wallis, para a Concentração de HC<sub>c</sub>, comparando as diferentes marcas de veículos

		Diferença entre as marcas HCc CP ML	Diferença entre as marcas HCc CP MA	Diferença entre as marcas HCc GNV ML	Diferença entre as marcas HCc GNV MA
Asymp. Sig.	L1	0,019	0,162	0,241	0,361
	L2	0,001	0,008	0,195	0,218
	L3	0,000	0,000	0,000	0,000
	L4	0,007	0,003	0,000	0,010
	L5	0,000	0,000	0,000	0,000

O teste de Kruskal-Wallis confirmou diferença significativas entre as quatro marcas de veículos para os veículos fabricados a partir de 1997 para a emissão do poluente HC<sub>c</sub>, tanto no combustível principal quanto no GNV, em ambos os regimes de aceleração. Pode-se também confirmar diferença significativa para os veículos fabricados a partir de 1992, desde que utilizando o combustível líquido.

Também foi realizado o Teste da Mediana, menos poderoso, porém que confirmou os resultados do teste anterior, conforme Tabela 5.8 a seguir:

Tabela 5.8 - Resultado do Teste da Mediana comparando a concentração de HC<sub>c</sub>, comparando as diferentes marcas de veículos

		Diferença entre as marcas HCc CP ML	Diferença entre as marcas HCc CP MA	Diferença entre as marcas HCc GNV ML	Diferença entre as marcas HCc GNV MA
Asymp. Sig.	L1	0,172	0,244	0,191	0,383
	L2	0,014	0,164	0,152	0,139
	L3	0,000	0,000	0,000	0,000
	L4	0,002	0,008	0,000	0,025
	L5	0,000	0,000	0,000	0,000

Para descobrir onde especificamente estão essas diferenças, foram realizados testes entre as marcas, duas a duas (Mann-Whitney) (Tabelas 5.10 a 5.13).

Seguem as Tabelas 5.9 a 5.28 os resultados dos testes estatísticos de Mann-Whitney, para comparação das marcas duas a duas:

a) HC<sub>c</sub> Combustível Líquido Marcha Lenta

a. Fase L1

Tabela 5.9 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação até 1991

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,093	0,098	0,210
FIAT	-	-	0,004	0,017
VW	-	-	-	0,963
FORD	-	-	-	-

b. Fase L2

Tabela 5.10 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,644	0,000	0,501
FIAT	-	-	0,004	0,751
VW	-	-	-	0,026
FORD	-	-	-	-

## c. Fase L3

Tabela 5.11 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,000	0,093
FIAT	-	-	0,248	0,000
VW	-	-	-	0,000
FORD	-	-	-	-

## d. Fase L4

Tabela 5.12 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,009	0,002	0,260
FIAT	-	-	0,277	0,276
VW	-	-	-	0,082
FORD	-	-	-	-

## e. Fase L5

Tabela 5.13 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,438	0,000	0,062
FIAT	-	-	0,000	0,024
VW	-	-	-	0,038
FORD	-	-	-	-

b) HC<sub>c</sub> Combustível Líquido Marcha Acelerada

## a. Fase L1

Tabela 5.14 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação até 1991

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,803	0,107	0,083
FIAT	-	-	0,162	0,150
VW	-	-	-	0,547
FORD	-	-	-	-

## b. Fase L2

Tabela 5.15 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,106	0,001	0,426
FIAT	-	-	0,140	0,673
VW	-	-	-	0,084
FORD	-	-	-	-

## c. Fase L3

Tabela 5.16 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,000	0,000
FIAT	-	-	0,984	0,000
VW	-	-	-	0,000
FORD	-	-	-	-



## d. Fase L4

Tabela 5.17 – Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,089	0,000	0,298
FIAT	-	-	0,017	0,654
VW	-	-	-	0,017
FORD	-	-	-	-

## e. Fase L5

Tabela 5.18 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,507	0,000	0,073
FIAT	-	-	0,000	0,032
VW	-	-	-	0,040
FORD	-	-	-	-

c) HC<sub>c</sub> Combustível Gasoso Marcha Lenta

## a. Fase L1

Tabela 5.19 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação até 1991

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,345	0,312	0,236
FIAT	-	-	0,090	0,086
VW	-	-	-	0,724
FORD	-	-	-	-

## b. Fase L2

Tabela 5.20 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,402	0,037	0,217
FIAT	-	-	0,335	0,632
VW	-	-	-	0,741
FORD	-	-	-	-

## c. Fase L3

Tabela 5.21 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,000	0,057
FIAT	-	-	0,405	0,002
VW	-	-	-	0,000
FORD	-	-	-	-

## d. Fase L4

Tabela 5.22 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,036	0,261
FIAT	-	-	0,341	0,000
VW	-	-	-	0,007
FORD	-	-	-	-

## e. Fase L5

Tabela 5.23 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,143	0,032	0,016
FIAT	-	-	0,001	0,001
VW	-	-	-	0,744
FORD	-	-	-	-

d) HC<sub>c</sub> Combustível Gasoso Marcha Acelerada

## a. Fase L1

Tabela 5.24 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação até 1991

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,251	0,094	0,327
FIAT	-	-	0,961	0,856
VW	-	-	-	0,786
FORD	-	-	-	-

## b. Fase L2

Tabela 5.25 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,222	0,178	0,056
FIAT	-	-	0,947	0,450
VW	-	-	-	0,438
FORD	-	-	-	-

## c. Fase L3

Tabela 5.26 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,000	0,000
FIAT	-	-	0,608	0,000
VW	-	-	-	0,000
FORD	-	-	-	-

## d. Fase L4

Tabela 5.27 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,999	0,035	0,071
FIAT	-	-	0,039	0,070
VW	-	-	-	0,001
FORD	-	-	-	-

## e. Fase L5

Tabela 5.28 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de HC<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,092	0,034	0,011
FIAT	-	-	0,001	0,000
VW	-	-	-	0,782
FORD	-	-	-	-

A seguir, nas tabelas 5.29 a 5.32 são apresentadas as médias de concentração de  $HC_c$  de cada marca, para cada combustível e regime de aceleração, de acordo também com as faixas de ano de fabricação. Foram destacados os casos em que há diferença estatisticamente significativa, segundo os testes cujos resultados foram apresentados nas Tabelas 5.9 a 5.28.

1. Concentração de  $HC_c$  no Combustível Principal em Marcha Lenta (ppm)

Tabela 5.29 - Concentração Média de Emissão de  $HC_c$  para as diferentes marcas de veículos ( $HC_c$  CP ML)

	GM	FIAT	VW	FORD
Fase L1	293,00	167,40	279,92	246,63
Fase L2	206,82	170,98	279,61	202,84
Fase L3	114,83	158,08	171,90	126,31
Fase L4	84,37	109,56	135,19	90,15
Fase L5	66,35	55,72	110,90	67,34

2. Concentração de  $HC_c$  no Combustível Principal em Marcha Acelerada (ppm)

Tabela 5.30 - Concentração Média de Emissão de  $HC_c$  para as diferentes marcas de veículos ( $HC_c$  CP MA)

	GM	FIAT	VW	FORD
Fase L1	213,87	171,34	196,84	223,98
Fase L2	177,45	131,27	206,23	151,46
Fase L3	94,31	141,47	143,26	112,34
Fase L4	79,91	107,33	126,47	79,49
Fase L5	64,90	57,36	109,01	66,45

### 3. Concentração de HC<sub>c</sub> no GNV em Marcha Lenta (ppm)

Tabela 5.31 - Concentração Média de Emissão de HC<sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (HC<sub>c</sub> GNV ML)

	GM	FIAT	VW	FORD
Fase L1	211,11	177,71	224,20	250,77
Fase L2	191,53	179,83	209,57	185,07
Fase L3	135,99	160,83	165,13	151,80
Fase L4	125,02	147,73	132,32	118,21
Fase L5	101,70	89,06	117,43	115,57

### 4. Concentração de HC<sub>c</sub> no GNV em Marcha Acelerada (ppm)

Tabela 5.32 - Concentração Média de Emissão de HC<sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (HC<sub>c</sub> GNV MA)

	GM	FIAT	VW	FORD
Fase L1	153,14	150,37	185,32	148,93
Fase L2	132,66	118,59	151,00	153,47
Fase L3	100,54	122,44	127,60	109,12
Fase L4	110,24	113,21	123,04	100,11
Fase L5	98,10	85,07	110,66	101,75

Observando as concentrações médias de HC<sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos das Tabelas 5.29 a 5.32 e os testes estatísticos de Mann-Whitney através das Tabelas de 5.9 a 5.28, pode-se dizer que somente é possível concluir sobre as diferenças entre as marcas para os veículos com ano de fabricação a partir de 1997.

Sobre os veículos a partir de 1997, pode-se concluir que:

- A emissão de HC<sub>c</sub> dos veículos da GM é menor do que os da Volkswagen, para qualquer combustível ou regime de aceleração;
- Os veículos da GM fabricados entre 1997 e 2004 (Fase L3) apresentaram menores emissões de HC<sub>c</sub> do que as demais marcas, com exceção da Ford nos testes em marcha lenta, onde não houve diferença significativa;
- Para os veículos fabricados entre 2009 a 2011, a emissão de poluentes dos veículos da FIAT são significativamente menores

do que os veículos da VW e FORD. Porém os veículos da FIAT com ano de fabricação entre 1997 e 2008 não tiveram bom desempenho, apresentando maior emissão do que a VW e FORD, significativamente comprovada nos testes no combustível principal em marcha acelerada e no GNV em marcha lenta.

4. **Hipótese 4:** existe diferença entre as concentrações de CO<sub>c</sub> nas diferentes marcas de veículos.

Para a hipótese 4, os testes seguiram a mesma lógica da hipótese 3 (HC<sub>c</sub>). Seguem abaixo as Tabelas 5.33 e 5.34, com os resultados obtidos com os testes de Kruskal-Wallis e da Mediana, respectivamente.

Tabela 5.33 - Resultado do Teste Estatístico de Kruskal-Wallis, para a Concentração de CO<sub>c</sub>, comparando as diferentes marcas de veículos

		Diferença entre as marcas COc CP ML	Diferença entre as marcas COc CP MA	Diferença entre as marcas COc GNV ML	Diferença entre as marcas COc GNV MA
Asymp. Sig.	L1	0,001	0,002	0,209	0,270
	L2	0,007	0,014	0,084	0,173
	L3	0,000	0,000	0,000	0,000
	L4	0,000	0,000	0,000	0,000
	L5	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabela 5.34 - Resultado do Teste da Mediana, para a Concentração de CO<sub>c</sub>, comparando as diferentes marcas de veículos

		Diferença entre as marcas COc CP ML	Diferença entre as marcas COc CP MA	Diferença entre as marcas COc GNV ML	Diferença entre as marcas COc GNV MA
Asymp. Sig.	L1	0,027	0,024	0,297	0,683
	L2	0,002	0,032	0,302	0,354
	L3	0,000	0,000	0,000	0,000
	L4	0,000	0,000	0,000	0,000
	L5	0,000	0,000	0,000	0,000

O teste de Kruskal-Wallis e o Teste da Mediana indicaram existir diferenças significativas entre as marcas para as quatro variáveis, para o combustível líquido para qualquer ano de fabricação e para o GNV para os veículos fabricados a partir de 1997. Foram aceitos os testes que apresentaram níveis de confiança superiores a 95% ( $p < 0,05$ ).

Para identificar as diferenças, procedeu-se novamente a testagem das marcas duas a duas, para cada variável, utilizando-se novamente o teste de Mann-Whitney. As tabelas 5.35 a 5.54 apresentam os resultados dos testes para cada variável.

a) CO<sub>c</sub> Combustível Líquido Marcha Lenta

## a. Fase L1

Tabela 5.35 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação até 1991

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,001	0,594	0,542
FIAT	-	-	0,000	0,001
VW	-	-	-	0,781
FORD	-	-	-	-

## b. Fase L2

Tabela 5.36 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,006	0,726	0,060
FIAT	-	-	0,004	0,612
VW	-	-	-	0,037
FORD	-	-	-	-

## c. Fase L3

Tabela 5.37 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,002	0,000	0,032
FIAT	-	-	0,178	0,000
VW	-	-	-	0,000
FORD	-	-	-	-



## d. Fase L4

Tabela 5.38 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,099	0,243
FIAT	-	-	0,112	0,000
VW	-	-	-	0,013
FORD	-	-	-	-

## e. Fase L5

Tabela 5.39 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,695	0,000	0,267
FIAT	-	-	0,000	0,144
VW	-	-	-	0,006
FORD	-	-	-	-

b) CO<sub>c</sub> Combustível Líquido Marcha Acelerada

## a. Fase L1

Tabela 5.40 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação até 1991

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,011	0,172	0,163
FIAT	-	-	0,000	0,001
VW	-	-	-	0,636
FORD	-	-	-	-

## b. Fase L2

Tabela 5.41 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,023	0,260	0,277
FIAT	-	-	0,002	0,714
VW	-	-	-	0,068
FORD	-	-	-	-

## c. Fase L3

Tabela 5.42 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,001	0,005
FIAT	-	-	0,922	0,000
VW	-	-	-	0,000
FORD	-	-	-	-

## d. Fase L4

Tabela 5.43 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,180	0,024
FIAT	-	-	0,003	0,000
VW	-	-	-	0,001
FORD	-	-	-	-

## e. Fase L5

Tabela 5.44 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>e</sub> com Combustível Líquido, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,662	0,000	0,168
FIAT	-	-	0,000	0,097
VW	-	-	-	0,009
FORD	-	-	-	-

c) CO<sub>e</sub> Combustível Gasoso Marcha Lenta

## a. Fase L1

Tabela 5.45 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação até 1991

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,119	0,556	0,365
FIAT	-	-	0,062	0,073
VW	-	-	-	0,777
FORD	-	-	-	-

## b. Fase L2

Tabela 5.46 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,240	0,097	0,970
FIAT	-	-	0,011	0,350
VW	-	-	-	0,217
FORD	-	-	-	-

## c. Fase L3

Tabela 5.47 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,000	0,481
FIAT	-	-	0,066	0,000
VW	-	-	-	0,000
FORD	-	-	-	-

## d. Fase L4

Tabela 5.48 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,006	0,190	0,013
FIAT	-	-	0,386	0,000
VW	-	-	-	0,001
FORD	-	-	-	-

## e. Fase L5

Tabela 5.49 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>e</sub> com GNV, em Marcha Lenta, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,714	0,000	0,250
FIAT	-	-	0,000	0,182
VW	-	-	-	0,050
FORD	-	-	-	-

d) CO<sub>c</sub> Combustível Gasoso Marcha Acelerada

## a. Fase L1

Tabela 5.50 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação até 1991

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,846	0,074	0,449
FIAT	-	-	0,172	0,461
VW	-	-	-	0,505
FORD	-	-	-	-

## b. Fase L2

Tabela 5.51 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1992 a 1996

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,622	0,028	0,316
FIAT	-	-	0,188	0,624
VW	-	-	-	0,523
FORD	-	-	-	-

## c. Fase L3

Tabela 5.52 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 1997 a 2004

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,000	0,000	0,406
FIAT	-	-	0,397	0,000
VW	-	-	-	0,000
FORD	-	-	-	-

## d. Fase L4

Tabela 5.53 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2005 a 2008

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,001	0,645	0,005
FIAT	-	-	0,026	0,000
VW	-	-	-	0,003
FORD	-	-	-	-

## e. Fase L5

Tabela 5.54 - Probabilidades de Significância obtidas com o Teste de Mann-Whitney, para a emissão de CO<sub>c</sub> com GNV, em Marcha Acelerada, para veículos com data de fabricação entre 2009 a 2011

	GM	FIAT	VW	FORD
GM	-	0,893	0,000	0,225
FIAT	-	-	0,000	0,202
VW	-	-	-	0,018
FORD	-	-	-	-

A seguir, nas tabelas 5.55 a 5.58 são apresentadas as médias de concentração de CO<sub>c</sub> de cada marca, para cada combustível e regime de aceleração, de acordo também com as faixas de ano de fabricação.

1. Concentração de CO<sub>c</sub> no Combustível Principal em Marcha Lenta (% vol)

Tabela 5.55 - Concentração Média de Emissão de CO<sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (CO<sub>c</sub> CP ML)

	GM	FIAT	VW	FORD
Fase L1	1,08	0,67	1,16	1,16
Fase L2	0,80	0,69	0,96	0,75
Fase L3	0,44	0,58	0,60	0,58
Fase L4	0,34	0,41	0,38	0,32
Fase L5	0,22	0,24	0,42	0,21

## 2. Concentração de CO<sub>c</sub> no Combustível Principal em Marcha Acelerada (% vol)

Tabela 5.56 - Concentração Média de Emissão de CO<sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (CO<sub>c</sub> CP MA)

	GM	FIAT	VW	FORD
Fase L1	1,06	0,70	1,21	1,29
Fase L2	0,82	0,68	0,96	0,79
Fase L3	0,46	0,68	0,60	0,53
Fase L4	0,36	0,48	0,40	0,30
Fase L5	0,24	0,26	0,49	0,22

## 3. Concentração de CO<sub>c</sub> no GNV em Marcha Lenta (% vol)

Tabela 5.57 - Concentração Média de Emissão de CO<sub>c</sub> para as diferentes marcas de veículos (CO<sub>c</sub> GNV ML)

	GM	FIAT	VW	FORD
Fase L1	0,49	0,33	0,63	0,41
Fase L2	0,41	0,36	0,47	0,41
Fase L3	0,24	0,27	0,25	0,25
Fase L4	0,19	0,21	0,18	0,18
Fase L5	0,14	0,11	0,16	0,22

#### 4. Concentração de $\text{CO}_c$ no GNV em Marcha Acelerada (% vol)

Tabela 5.58 - Concentração Média de Emissão de  $\text{CO}_c$  para as diferentes marcas de veículos ( $\text{CO}_c$  GNV MA)

	GM	FIAT	VW	FORD
Fase L1	0,37	0,36	0,44	0,39
Fase L2	0,33	0,33	0,37	0,37
Fase L3	0,20	0,26	0,24	0,24
Fase L4	0,19	0,21	0,18	0,15
Fase L5	0,13	0,12	0,16	0,21

Analizando as Tabelas 5.35 a 5.54 e as Tabelas 5.55 a 5.58, pode-se afirmar que:

- Nas fases L1 e L2 (veículos fabricados até 1996), a FIAT apresentou menores índices de emissão de  $\text{CO}_c$  do que as demais marcas;
- Na fase L3 (veículos fabricados entre 1997 a 2004), a GM apresentou melhor desempenho, não tendo sido significativa a diferença somente com a Ford para o GNV;
- Na fase L4 (veículos fabricados entre 2005 e 2008), os veículos da FORD emitiram menos  $\text{CO}_c$  do que as demais marcas;
- Na fase L5 (veículos fabricados a partir de 2009), o destaque ficou com a Volkswagen, que apresentou pior desempenho do que as demais marcas, que se equivalem em termos de emissão de  $\text{CO}_c$ ;
- Pode-se concluir também que os veículos da FORD tem melhor desempenho na emissão do poluente  $\text{CO}_c$  em relação a VW nos testes usando combustível líquido, para os veículos fabricados a partir de 1997.

**5. Hipótese 5:** a concentração de  $\text{HC}_c$  nos testes com combustível líquido é diferente da concentração de  $\text{HC}_c$  no combustível gasoso (GNV). Se sim, é maior ou menor?

Para testar esta hipótese, foi escolhido o teste não paramétrico de Wilcoxon, indicado para amostras pareadas.



Tabela 5.59 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a concentração de HC<sub>c</sub> (ppm) no Combustível Principal vs GNV

		Concentração de HC <sub>c</sub> no CP versus GNV, em ML	Concentração de HC <sub>c</sub> no CP versus GNV, em MA
Asymp. Sig.	FASE L1	0,049	0,001
	FASE L2	0,965	0,022
	FASE L3	0,000	0,000
	FASE L4	0,000	0,000
	FASE L5	0,000	0,000

O teste de Wilcoxon comprovou, conforme Tabela 5.59 para uma probabilidade de significância de 95% ou seja, um  $p < 0,005$  (na tabela lê-se “Asymp. Sig.”), em afirmar que, em quase todas as fases do PROCONVE, a concentração as concentrações de HC<sub>c</sub> é diferente entre as amostras de veículos, a exceção foi para a fase L2, ou seja, veículos fabricados entre 1992 a 1996, não é possível afirmar em ML que existe diferença significativa entre o combustível líquido e o gasoso na concentração do HC<sub>c</sub>.

Observando-se a Tabela 5.60, para todas as fases do PROCONVE, tem-se as médias para a concentração do HC<sub>c</sub> tanto para o combustível líquido como o gasoso nas diferentes rotações de teste do motor, ou seja:

Tabela 5.60 - Concentração Média de Emissão de HC<sub>c</sub> (ppm) para cada tipo de Combustível

	FASE L1	FASE L2	FASE L3	FASE L4	FASE L5
HC <sub>c</sub> CP ML	272,30	216,29	136,70	101,21	67,61
HC <sub>c</sub> GNV ML	216,68	191,16	149,38	132,26	100,83
HC <sub>c</sub> CP MA	211,44	170,53	116,81	95,55	67,93
HC <sub>c</sub> GNV MA	164,90	136,49	113,32	111,02	94,65

Assim, pode-se concluir então que:

- Para os veículos mais antigos, fabricados até 1996, fase L1 e L2, podemos concluir, observando-se as Tabelas 5.59 e 5.60 que os veículos utilizando combustível principal (CP) emitem mais HC<sub>c</sub> do que com gás natural (GNV), tanto em marcha lenta (ML) como marcha acelerada (MA), porém não é possível afirmar que existe diferença significativa na emissão de HC<sub>c</sub>.

tanto para o CP versus GNV para os veículos fabricados entre 1992 a 1996, fase L2, para a ML somente;

- Para os veículos mais novos, fabricados a partir de 2005, fase L4, podemos concluir, observando-se as Tabelas 5.59 e 5.60, que os veículos utilizando gás natural (GNV) emitem mais HC<sub>c</sub> dos que os veículos com combustível líquido, tanto em marcha lenta (ML) como em marcha acelerada (MA);
- Para os veículos da fase L3 os resultados variam de acordo com o regime de aceleração. Em marcha lenta o GNV emite mais HC<sub>c</sub> e em marcha acelerada emite menos.

**6. Hipótese 6:** a concentração de CO<sub>c</sub> nos testes com combustível líquido é diferente da concentração de CO<sub>c</sub> no combustível gasoso (GNV). Se sim é maior ou menor?

O teste de Wilcoxon apresentou probabilidade de significância maior do que 99% ou seja, um  $p < 0,001$  (na tabela lê-se “Asymp. Sig.”), permitindo inferir que há diferença significativa nas concentrações de CO<sub>c</sub> entre as amostras, conforme a Tabela 5.61:

Tabela 5.61 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a Concentração de CO<sub>c</sub> Combustível Principal vs GNV

		Concentração de CO <sub>c</sub> no CP versus GNV, em ML	Concentração de CO <sub>c</sub> no CP versus GNV, em MA
Asymp. Sig.	FASE L1	0,000	0,000
	FASE L2	0,000	0,000
	FASE L3	0,000	0,000
	FASE L4	0,000	0,000
	FASE L5	0,000	0,000

Da Tabela 5.62 a seguir foram extraídas as seguintes médias de concentração do CO<sub>c</sub> para ambos combustíveis e referidas rotações do motor, ou seja:

Tabela 5.62 - Concentração Média de Emissão de  $\text{CO}_c$  (% vol) para cada tipo de Combustível

	FASE L1	FASE L2	FASE L3	FASE L4	FASE L5
$\text{CO}_c$ CP ML	1,0618	0,8018	0,5094	0,3535	0,2448
$\text{CO}_c$ GNV ML	0,5004	0,4136	0,2478	0,1880	0,1340
$\text{CO}_c$ CP MA	1,0943	0,8102	0,5406	0,3853	0,2677
$\text{CO}_c$ GNV MA	0,3915	0,3414	0,2277	0,1838	0,1331

Assim, pode-se concluir, para todas as fases do PROCONVE, ao se observar as Tabelas 5.61 e 5.62, que os veículos no combustível gasoso GNV emitem menos  $\text{CO}_c$  que os veículos com combustível líquido, tanto em marcha lenta (ML) como em marcha acelerada (MA) do motor.

**7. Hipótese 7:** a concentração de  $\text{HC}_c$  em rotação marcha lenta (ML) do motor no combustível principal ou líquido é diferente em rotação acelerada (MA) deste mesmo combustível. Se sim, é maior ou menor?

Neste caso, mesmos passos da hipótese 5, foi desenvolvido também o teste de Wilcoxon, permitiu inferir nas concentrações de  $\text{HC}_c$  no combustível principal entre as amostras analisadas, vistas na Tabela 5.63:

Tabela 5.63 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a concentração de  $\text{HC}_c$  Marcha Lenta versus Marcha Acelerada (combustível líquido)

		Concentração de $\text{HC}_c$ no CP ML versus MA
Asymp. Sig.	FASE L1	0,000
	FASE L2	0,000
	FASE L3	0,000
	FASE L4	0,092
	FASE L5	0,000

Tabela 5.64 - Concentração média de HC<sub>c</sub> (ppm) para o combustível principal

	FASE L1	FASE L2	FASE L3	FASE L4	FASE L5
HC <sub>c</sub> CP ML	272,30	216,29	136,70	101,21	67,61
HC <sub>c</sub> CP MA	211,44	170,53	116,81	95,55	67,93

Assim, pode-se concluir, observando-se as Tabelas 5.63 e 5.64 então que:

- Para os veículos mais antigos, fabricados de 1988 até 2004, até fase L3 do PROCONVE, emitem mais HC<sub>c</sub> em marcha lenta do que em marcha acelerada, quando utilizando combustível líquido;
- Para os veículos mais novos (a partir de 2009), ao contrário, há mais emissão de HC<sub>c</sub> em marcha acelerada do que em marcha lenta;
- Não foi possível afirmar nada para os veículos da fase L4.

8. **Hipótese 8:** a concentração de HC<sub>c</sub> em rotação marcha lenta (ML) do motor no GNV é diferente em rotação acelerada (MA) deste mesmo combustível. Se sim, é maior ou menor?

Neste caso, nos mesmos passos da hipótese 7, foi desenvolvido também o teste de Wilcoxon, permitiu inferir nas concentrações de HC<sub>c</sub> no GNV entre as amostras analisadas, vistas na Tabela 5.65:

Tabela 5.65 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a concentração de HC<sub>c</sub> Marcha Lenta versus Marcha Acelerada (GNV)

		Concentração de HC <sub>c</sub> no GNV ML versus MA
Asymp. Sig.	FASE L1	0,000
	FASE L2	0,000
	FASE L3	0,000
	FASE L4	0,000
	FASE L5	0,130

Tabela 5.66 - Concentração Média de HC<sub>c</sub> (ppm) para o GNV

	FASE L1	FASE L2	FASE L3	FASE L4	FASE L5
HC <sub>c</sub> GNV ML	216,68	191,16	149,38	132,26	100,83
HC <sub>c</sub> GNV MA	164,90	136,49	113,32	111,02	94,65

O teste de Wilcoxon apresentou probabilidade de significância  $p < 0,001$  (na tabela lê-se “Asymp. Sig.”), ou seja, há diferença significativa nas concentrações de HC<sub>c</sub> no combustível gasoso em marcha lenta (ML) versus na marcha acelerada (MA) para os veículos fabricados de 1998 até 2008 ou seja, fases L1 a L4 do PROCONVE conforme Tabela 5.65. Pode-se concluir, então, verificando as médias apresentadas na Tabela 5.66, que os veículos usando GNV emitem mais HC<sub>c</sub> em marcha lenta do que em marcha acelerada.

Não é possível afirmar que existe diferença significativa na emissão de HC<sub>c</sub> entre os diferentes regimes de aceleração para os veículos fabricados entre 2009 e 2011, utilizando o GNV.

**9. Hipótese 9:** a concentração de CO<sub>c</sub> em rotação marcha lenta (ML) do motor no combustível principal ou líquido (CP) é diferente em rotação acelerada (MA) deste mesmo combustível. Se sim, é maior ou menor?

Neste caso, mesmos passos da hipótese 8, foi desenvolvido também o teste de Wilcoxon, permitiu inferir nas concentrações de CO<sub>c</sub> no combustível principal entre as amostras analisadas, vistas na Tabela 5.67:

Tabela 5.67 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a concentração de CO<sub>c</sub> Marcha Lenta versus Marcha Acelerada (Combustível Principal)

		Concentração de CO <sub>c</sub> no CP ML versus MA
Asymp. Sig.	FASE L1	0,760
	FASE L2	0,115
	FASE L3	0,000
	FASE L4	0,000
	FASE L5	0,000

Tabela 5.68 - Concentração Média de CO<sub>c</sub> (% vol) para o Combustível Principal

	FASE L1	FASE L2	FASE L3	FASE L4	FASE L5
CO <sub>c</sub> CP ML	1,0618	0,8018	0,5094	0,3535	0,2448
CO <sub>c</sub> CP MA	1,0943	0,8102	0,5406	0,3853	0,2677

Da Tabela 5.67 observa-se que o teste de Wilcoxon demonstrou probabilidade de significância de mais de 99,9% ( $p < 0,001$ ), ou seja, é possível afirmar que há diferença significativa nas concentrações de CO<sub>c</sub> em marcha lenta e marcha acelerada, quando utilizando o combustível principal, para os veículos fabricados entre 1997 e 2013, ou seja para as fases L3 a L5 do PROCONVE. Para os veículos mais antigos (L1 e L2) não é possível afirmar que existe diferença significativa na emissão de CO<sub>c</sub> entre ML e MA do motor.

Pode-se concluir, portanto, de acordo com a Tabela 5.68 que os veículos no combustível principal emitem menos CO<sub>c</sub> em marcha lenta do que em marcha acelerada, para os veículos fabricados somente entre 1997 e 2011.

**10. Hipótese 10:** a concentração de CO<sub>c</sub> em rotação marcha lenta (ML) do motor no GNV é diferente em rotação acelerada (MA) deste mesmo combustível? Se sim, é maior ou menor?

Neste caso, seguindo os mesmos passos da hipótese 9, foi desenvolvido também o teste de Wilcoxon, que permitiu inferir nas concentrações de CO<sub>c</sub> no GNV entre as amostras analisadas. O resultado é apresentado na Tabela 5.69:

Tabela 5.69 - Resultado do Teste de Wilcoxon para a Concentração de CO<sub>c</sub> Marcha Lenta versus Marcha Acelerada (GNV)

		Concentração de CO <sub>c</sub> no GNV ML versus MA
Asymp. Sig.	FASE L1	0,134
	FASE L2	0,000
	FASE L3	0,000
	FASE L4	0,071
	FASE L5	0,751

Tabela 5.70 - Concentração Média de CO<sub>c</sub> (%vol) para o combustível GNV

	FASE L1	FASE L2	FASE L3	FASE L4	FASE L5
CO <sub>c</sub> GNV ML	0,5004	0,4136	0,2478	0,1880	0,1340
CO <sub>c</sub> GNV MA	0,3915	0,3414	0,2277	0,1838	0,1331

O teste estatístico de Wilcoxon apresentou, conforme Tabela 5.69, probabilidade de significância de mais de 99% ( $p < 0,001$ ), ou seja, pode-se afirmar que existe diferença significativa nas concentrações de CO<sub>c</sub> no GNV para marcha lenta e marcha acelerada somente para os da L2 e L3 do PROCONVE, isto é para veículos fabricados entre 1992 e 2004. Para as demais fases, não é possível afirmar que existe diferença significativa na emissão de CO<sub>c</sub> no GNV entre marcha lenta e acelerada.

Pode-se concluir com os dados das Tabelas 5.69 e 5.70 que os veículos utilizando o GNV em marcha lenta emitem mais CO<sub>c</sub> do que em marcha acelerada somente para os veículos fabricados entre 1992 e 2004.

## 5.4 DIAGNÓSTICO DAS CAUSAS MECÂNICAS DOS RESULTADOS DAS HIPÓTESES FORMULADAS

### 5.4.1 Diagnóstico Teórico Básico das Falhas nas Emissões Pesquisadas

As emissões de gases do motor são um indicador do estado de funcionamento do próprio motor, além de fonte de poluição do meio ambiente. As concentrações de gases de escape utilizadas como indicadores para a afinação de um motor devem seguir os valores fornecidos pelo fabricante; assim, as adaptações de *kits* GNV nos motores originais de fábrica pelas instaladoras registradas pelo INMETRO, devem seguir estas mesmas exigências de emissões de gases e poluentes (CEPRA, 2000).

É importante assinalar que as instaladoras de *kit* GNV realizam obrigatoriamente em seus veículos convertidos, segundo os Regulamentos Técnicos da Qualidade (RTQ 33), um teste de análise de gases em um aparelho aferido a cada seis meses pelo INMETRO, para verificação do nível dos poluentes emitidos em ambos combustíveis do veículo. A posterior, para emissão de uma nova documentação do seu Certificado de Registro e Licenciamento (CRVL) junto ao DETRAN/SC, estes veículos bicompostíveis adaptados, recebem uma

nova fiscalização de emissão de poluentes dos *kits* GNV instalados, através de uma inspeção veicular mais abrangente nas Instituições Técnicas Licenciadas (ITL) homologadas pelo DENATRAN, como já foi apresentado na seção 3.2.

Nos relatórios finais de análises de gases e poluentes emitidos pelas ITL estudadas, estas falhas nas emissões (valores medidos acima dos limites da Resolução nº 418/09 do CONAMA) são chamadas pelo RTQ 37 do INMETRO de “não conformidades técnicas” apresentadas pelos veículos inspecionados, assunto já detalhado no Capítulo 3.

#### **5.4.1 Diagnose Específica dos Poluentes HC<sub>c</sub> e CO<sub>c</sub> para os Veículos com GNV**

Serão objeto de análise aprofundada, a seguir, os poluentes HC<sub>c</sub> e CO<sub>c</sub>, devido a sua significância na poluição urbana veicular e ao fato de terem limites máximos estabelecidos pela atual Resolução nº 418/09 do CONAMA, tanto em marcha lenta (ML) do motor como em marcha acelerada (MA).

A análise foi baseada nos milhares de relatórios de emissão de poluentes, com o foco no cruzamento de dados e teste de hipóteses, visando contribuir com o conhecimento sobre a emissão de gases poluentes pelos veículos adaptados a GNV no Brasil, bem como a investigação de possíveis causas mecânicas das reprovações dos veículos nos testes de emissão.

Além dos estudos científicos e técnicos disponíveis pesquisados destas causas mecânicas destas instalações dos referidos *kits* GNV (as quais são complexas conforme anexo II), foram corroboradas também com uma consulta técnica realizada para este trabalho entre os especialistas das oficinas instaladoras certificadas na Grande Florianópolis, assim as conclusões básicas e mais gerais das causas mecânicas são ancoradas nas seguintes bases teóricas vistas a seguir:

- Instalação do *kit* GNV de 1ª e 2ª geração, sem garantia de regulação estequiométrica  $\lambda$  da mistura ar combustível do combustível gasoso aliado a um o patamar tecnológico original do veículo adaptado com o uso ainda de carburadores;
- Instalação do *kit* GNV de 3ª geração com o controle ambiental descrito no CAGN, porém quando instalado incompleto ou misturado com outros componentes não homologados, estará em desconformidade (exceto as variações previstas pelo fabricante do *kit* com CAGN), retirando, por exemplo, do



mesmo o conjunto gerenciamento eletrônico e o motor de passo, a pedido de clientes por razões econômicas;

- A aspiração do gás nos motores convertidos com *kit* GNV até a 3ª geração, é feita com os uso do dispositivo mecânico chamado de misturador ou mesclador de construção complexa, realizado com de material não apropriado e muitas vezes instalado fora dos padrões originais, incompatível as características da admissão do motor do veículo e também fora das especificidades do redutor de pressão;
- Entre as irregularidades técnicas recorrentes nos *kit* GNV em geral, podem ser citadas: exclusão ou instalação de componentes diferentes dos conjuntos de componentes originalmente certificados; substituição de componentes por outro de característica técnica inadequada ao sistema; instalação de conjunto inferior às características técnicas do veículo; regulação inadequada do conjunto principalmente a não reprogramação dos módulos de ignição e injeção (VALIANTE 2006);
- As características físico-químicas do combustível GNV ausência de enxofre, tendência de menores emissões de CO (combustível não queimado), CO<sub>2</sub> e NMHC e tendência de maiores emissões de NO<sub>x</sub> e CH<sub>4</sub> não queimado.

Assim, com estas delimitações teóricas explanadas acima bem como seus parâmetros estabelecidos de resposta geral, passaremos a seguir, a responder aos quesitos das 10 hipóteses formuladas.

### 5.4.3 Interpretação dos Resultados das Hipóteses para os Veículos com GNV

As hipóteses em suas respostas de avaliação final entre os poluentes HC<sub>C</sub> e CO<sub>C</sub> versus a motorização veicular e seu conjunto de exaustão de gases e poluentes originais, em nosso entendimento, poderão ser agrupadas duas a duas quando as mesmas possuem um comportamento similar geral em função dos seus processos físicos e químicos desencadeados, conforme se apresentam a seguir:

**Hipóteses 1 e 2:** veículos mais antigos (até 1996) emitem maior concentração de HC<sub>C</sub> e CO<sub>C</sub> (% vol) do que os veículos mais novos (a partir de 1997).

Prováveis causas:

- a) Utilização, no caso dos veículos mais antigos, de *kit* GNV com tecnologia ultrapassada (2ª geração), mais barato, sem controle em malha fechada (sem o motor de passo que regula eletronicamente a mistura de ar e GNV), aliado à tecnologia antiga utilizada nos veículos (carburados). Sendo assim, a mistura é feita através de registros mecânicos instáveis, resultando em mistura ar/gás não estequiométrica;
- b) Exclusão ou instalação de componentes de diferentes conjuntos (*kit* GNV) de diferentes fabricantes na instalação do GNV. A pedido dos clientes com menor poder aquisitivo, algumas instaladoras selecionam diversos componentes de diferentes fabricantes dos *kits* de GNV, formando um sistema mesclado de instalação com custo relativamente menor. Embora cada *kit* de GNV seja originalmente certificado ambientalmente (CAGN), o *kit* de GNV resultante (mesclado) não alcança os objetivos de baixa emissão de poluentes;
- c) Inexistência dos catalizadores nos sistemas de exaustão dos motores na maioria dos veículos fabricados antes de 1997 (só 20% os possuíam) ou veículos com eficiência do catalizador comprometida na redução química dos poluentes, pois a vida útil do catalizador é de cinco anos, ou algo por volta de aproximadamente 80.000 km ou 5 anos.

**Hipóteses 3 e 4:** foi confirmada a diferença entre as concentrações de HC<sub>c</sub> e CO<sub>c</sub> nas diferentes marcas de veículos FIAT, GM, VW e FORD.

Prováveis causas:

- a) As Oficinas Instaladoras Registradas em geral encontram grande dificuldade no dimensionamento correto do mesclador da mistura ar-gás para o combustível GNV a ser instalado no tubo que vai do filtro de ar ao TBI<sup>11</sup> do motor (antigo carburador). Este componente mecânico tem grande influência no funcionamento geral do motor, pois aspira o gás do redutor de pressão do sistema de conversão e sua função estratégica atua principalmente até os *kits* de GNV de 3ª geração. Sua

---

<sup>11</sup> TBI (Throtle Body Injection) é onde fica localizada a borboleta de aceleração, é por onde o ar que entra no motor é regulado. Fica localizado acima do coletor de admissão, no local onde ficava localizado o carburador.

forma geométrica é similar a de um tubo tipo Venturi<sup>12</sup>, o mesmo utilizado no motor original do veículo para os combustíveis líquidos, porém o seu formato é determinado por cada fabricante de motor das montadoras em questão (dimensões precisas dos furos circulares e concêntricos);

- b) Outra questão técnica importante é a necessidade de garantir que a “garganta” (menor diâmetro) do tubo Venturi seja projetada, em média, com tamanho inferior (cerca de 40% menor) da garganta original no corpo da borboleta, no TBI do motor. Os padrões e definições de precisão dos mescladores exigidos por cada fabricante de motor são, na prática, frequentemente, substituídos por componentes inadequados, fabricado de material plástico (se deforma com o calor do motor), raio do cone de entrada da mistura incorreto, acabamento superficial inadequado, etc;
- c) Quando o misturador para GNV é desenvolvido, torna-se necessário considerar as várias faixas de regime do motor e consequentemente a variação no volume de ar aspirado. Se o mesclador não estiver nos padrões de fabricação exigidos, o veículo terá variação do consumo de combustível – gasoso ou líquido, além de desgaste prematuro de componentes do motor e aumento dos níveis de emissão de poluentes (VALIENTE, 2006).

**Hipótese 5:** veículos utilizando gás natural (GNV) emitem mais HC<sub>c</sub> dos que os veículos com combustível líquido, tanto em marcha lenta como marcha acelerada.

Prováveis causas:

- a) A restrição da passagem do ar imposta pelos mescladores ou misturadores mal dimensionados, não promovendo a mistura do gás com o ar aspirado do motor adequadamente, fora do padrão exigido pelos motores originais das montadoras, faz com que da mistura estequiométrica ar/GNV fique rica, ou seja,  $\lambda < 1$ , aumentando-se a emissão do HC<sub>c</sub>, pois o mesclador

---

<sup>12</sup> Tubo Venturi – basicamente, um Venturi provoca o aumento na velocidade de escoamento de um fluido dentro do duto tendo a sua maior velocidade na garganta, região de menor diâmetro do duto, provocando nesse ponto uma diminuição da pressão. Os misturadores desenvolvidos para o GNV devem sensibilizar os redutores de pressão, isto é, devem provocar o deslocamento gradual da alavanca de baixa pressão, consequentemente, maior fornecimento de gás, à medida que o motor aspira mais ar.

não sensibiliza os redutores de pressão nas mais variadas rotações do motor em consequência;

- b) O GNV é um gás constituído por 90% de metano, assim como 90% dos hidrocarbonetos totais<sup>13</sup> emitidos pelo escapamento do veículo também correspondem a metano. A dificuldade natural do metano de se oxidar cataliticamente, aliada o fato de que as temperaturas dos gases de exaustão dos motores a GNV são mais baixas em comparação a veículos a gasolina (o que desfavorece ainda mais a conversão catalítica) podem explicar os resultados negativos de emissão de HC nos veículos a GNV;
- c) O incremento significativo nas emissões de metano pode também ser devido à baixa eficiência da queima do gás natural, provavelmente porque os veículos tiveram uma regulação da mistura rica, provocando uma maior emissão. Se o equipamento utilizado foi um *kit* GNV de 3ª geração, não foi aproveitada a combustão completa do gás natural e, muito provavelmente, o combustível não está sendo totalmente queimado, de modo que uma boa fração do gás está sendo liberado nos gases de exaustão. Veículos desenhados especificamente para a queima do gás natural como combustível conseguem a combustão completa e, com a ajuda de um catalizador específico para veículos a gás, conseguem uma emissão baixa ou muito baixa de metano (VILLANUEVA, 2002);
- d) A queima do GNV admite a utilização de uma taxa de compressão mais alta nos motores. A queima do GNV em motores dimensionados para outros combustíveis com menor taxa de compressão, se torna menos eficiente, gerando mais HC<sub>c</sub>.

**Hipótese 6:** veículos fabricados até 2011, fase L5 do PROCONVE, utilizando gás natural (GNV) emitem menos CO<sub>c</sub> dos que os veículos com combustível líquido, tanto em marcha lenta como marcha acelerada.

Prováveis causas:

- a) A composição do gás GNV é de 90% de metano (mais de 90% de CH<sub>4</sub>), o que implica em uma reação de combustão

---

<sup>13</sup> As emissões veiculares de Hidrocarbonetos Totais são resultado da soma das emissões de Metano e de outros Hidrocarbonetos - denominados Hidrocarbonetos não Metano.

naturalmente com uma grande redução nas emissões do CO nos gases de escapamento dos veículos, já que o gás natural tem menor conteúdo de carbono na sua composição química do que a gasolina (LIN, 2004 apud FERNANDES 2009);

- b) O CO<sub>2</sub> máximo teórico calculado pela reação de combustão na mistura estequiométrica em % é o menor (9,79) comparado com os outros combustíveis líquidos, ou seja, o menor CO<sub>2</sub> teórico significa também menor CO na região rica. Portanto, verifica-se que o GNV tem um excelente potencial para fazer um motor pouco poluente. O GNV não necessita de enriquecimento para aceleração e não necessita de enriquecimento para atingir a potência máxima, resulta em baixíssima emissão (PELLIZA, 2008);
- c) Quando a construção dos misturadores ou mescladores é feita fora dos padrões de material e dimensões para cada tipo de motor, pode ocorrer um misturador de garganta muito grande, o que provocaria baixa ou nenhuma restrição ao fluxo de ar aspirado pelo motor, e consequentemente a mistura estequiométrica se mantém pobre e as emissões de CO serão menores, para as várias rotações do motor.

**Hipóteses 7 e 8:** a concentração de HC<sub>c</sub> em rotação marcha lenta (ML) do motor é diferente em rotação acelerada (MA) nos combustíveis GNV e no combustível principal.

A hipótese de diferença entre marcha lenta e acelerada foi confirmada no combustível principal (CP) para veículos fabricados até 2004, fase L3 do PROCONVE, ou seja, emitem mais HC<sub>c</sub> em ML do que em MA. No combustível GNV foi também confirmada diferença para os veículos fabricados até 2008, fase L4 do PROCONVE, isto é, emitem mais HC<sub>c</sub> em marcha lenta (ML) do que em marcha acelerada (MA).

Prováveis causas:

- a) Com a instalação de *kit* GNV incompleto ou com componentes mecânicos de fabricação diferenciada, a mistura estequiométrica ar/GNV em baixa rotação do motor, com baixo fluxo de ar aspirado do motor, vai ficar mais rica ainda, pela restrição maior da quantidade de ar imposta por esta miscelânea construtiva de *kit* GNV. Em alta rotação no motor, fluxo de ar aspirado maior que o normal, dando em consequência, excesso de O<sub>2</sub>, o qual vai gerar uma mistura

estequiométrica pobre, somado a instabilidade no funcionamento do motor (falhas na combustão);

- b) Com o tempo, o sensor da sonda lambda acaba coberto de cinzas de óleo, reduz a capacidade de mudar a proporção da mistura ar-GNV. O sensor defeituoso não fornece os dados corretos à central eletrônica, o que pode causar consumo excessivo de combustível, aumentando os índices de HC;
- c) Eficiência do catalizador reduzida em marcha lenta: índices de  $O_2$  e CO, ou seja, índices de  $O_2$  menores que 1,0% indicam que o catalisador está recebendo volume de oxigênio insuficiente para funcionar corretamente, problema com filtros de ar sujos, sistemas de aeração entupidos, entre outras causas.

**Hipóteses 9 e 10:** a concentração de  $CO_c$  em rotação marcha lenta (ML) do motor é diferente em rotação acelerada (MA)

Em ambos os combustíveis (combustível líquido e GNV) a hipótese foi confirmada ( $p < 0,001$ ). Os resultados foram diferentes para o combustível líquido e gasoso, isto é, no combustível principal as emissões de  $CO_c$  são menores em marcha lenta e no combustível gasoso o contrário (emissões maiores em marcha lenta).

a) No combustível principal (CP) para veículos fabricados entre 1997 até 2011, fases L3 a L5 do PROCONVE, em marcha lenta (ML) a emissão menor de  $CO_c$  do que em marcha acelerada (MA), devido a:

Prováveis causas:

- Componentes do *kit* GNV com suas características modificadas ou substituídas por modelos inferiores, não homologados para o seu conjunto do *kit*, comprometem o desempenho do sistema de instalação assim como o desempenho do motor e no caso da construção irregular do mesclador ou misturador quando do funcionando no combustível líquido, a redução do ar restringida desproporcional pelo mesclador instalado para o funcionamento do GNV e mais a redução original do TBI do motor, estas duas reduções de fluxo, vão potencializar ainda mais a redução do ar na mistura estequiométrica ar combustível líquido do motor em marcha acelerada, mais combustível com menos ar, ou seja, mistura rica,  $\lambda < 1$ , características estas de emissão maior do  $CO_c$  nesta rotação;

- Eficiência do catalizador reduzida em marcha lenta: índices de  $O_2$  e  $CO$ , ou seja, índices de  $O_2$  menor que 1,0 % indicam que o catalisador está recebendo volume de oxigênio insuficiente para funcionar corretamente, problema com filtros de ar sujos, sistemas de aeração entupidos, entre outras causas.
- b) No combustível gasoso, para veículos fabricados entre 1992 e 2004, fases L2 e L3 do PROCONVE, ao contrário, na marcha lenta (ML) emite mais  $CO_c$  do que em marcha acelerada (MA):

Prováveis causas:

- A substituição de componente por outro de característica técnica inadequada ao sistema, a instalação de conjunto inferior às características técnicas do veículo e a não reprogramação dos módulos de ignição e injeção eletrônica, podem levar ao funcionamento irregular do avanço da ignição, pois a mistura ar-gás ioniza menos o ambiente da câmara de combustão e, assim, requer uma maior voltagem do sistema de ignição para uma combustão mais eficiente o que em marcha lenta via ampliar situações de mistura não estequiométrica rica, ou seja,  $\lambda < 1$ , em consequência maior consumo de  $CO_c$  (VALIANTE, 2006 e PELLIZA, 2003);
- Com a instalação de *kit* GNV sem controle eletrônico da relação estequiométrica, fator lambda ideal, ou seja,  $\lambda = 1$ , a eficiência dos catalizadores é diminuída significativamente, reforçando maiores emissões do  $CO_c$  nas baixas rotações, onde as temperaturas de funcionamento são ainda menores.

Assim, com a pesquisa bibliográfica realizada, a coleta de dados analisadas estatisticamente para cada hipótese formulada, interpretação dos resultados e os diagnósticos das causas mecânicas (veículos reprovados), passaremos as conclusões e recomendações no capítulo 6, a seguir.





## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

Conforme definido no objetivo da dissertação, foram analisados neste trabalho os dados de emissão de poluentes dos veículos leves convertidos para uso do gás natural veicular na região da Grande Florianópolis, visando contribuir para a melhoria do sistema GNV brasileiro.

Após análise acurada de dados da emissão de poluentes (especialmente HC<sub>c</sub> e CO<sub>c</sub>) da amostra de 17.578 veículos leves convertidos a GNV, avaliados nas 4 ITL da Grande Florianópolis, entre os anos de 2010 e 2011, pôde-se chegar as seguintes conclusões, assim sumariadas de acordo com os objetivos específicos iniciais desta pesquisa:

- a) Especificamente no teste de emissão de poluentes, foram reprovados 849 veículos (aproximadamente 5% da amostra total). Em comparação a outros estudos similares, são índices baixos. No entanto, é necessário considerar que os veículos que se apresentam nas ITL para serem submetidos à inspeção veicular são aqueles que possuem *kits* de GNV instalados por oficinas homologadas, exigência esta imposta às ITL pelo INMETRO;
- b) A maioria dos veículos inspecionados foi fabricada entre os anos 1995 e 2004 (63%), no auge da transformação dos veículos para o GNV. Com relação ao combustível principal (original), 79% dos veículos inspecionados são movidos à gasolina; 19% são bicomcombustível (*flex*) e somente 3% são movidos somente a etanol;
- c) Noventa e dois por cento (92%) dos veículos inspecionados são das marcas GM, Ford, Fiat e Volkswagen;
- d) Avaliando os percentuais de aprovação/reprovação, os veículos reprovaram mais nos testes utilizando o combustível principal do que utilizando o GNV, e reprovaram mais nos testes em marcha lenta do que na marcha acelerada;
- e) Como era de se esperar, a análise estatística comprovou que os veículos mais antigos (fabricados até 1996) emitem maiores concentrações do poluente HC<sub>c</sub>, em média 70% mais do que os veículos mais novos (fabricados a partir de 1997),

tanto no combustível principal como no gasoso GNV, e independente da rotação do motor durante o teste estacionário realizado nas ITL. Em relação ao  $\text{CO}_c$ , os veículos mais antigos emitem 83% mais do que os veículos novos;

f) A análise estatística também comprovou que existem diferenças nas concentrações de  $\text{HC}_c$  e  $\text{CO}_c$  entre as diferentes marcas de veículos GM, FIAT, VW e FORD. Neste foco, algumas conclusões podem ser destacadas:

- A emissão de  $\text{HC}_c$  dos veículos da GM é menor do que os da Volkswagen, para qualquer combustível ou regime de aceleração.
- Os veículos da GM fabricados entre 1997 e 2004 (Fase L3 do PROCONVE) apresentaram menores emissões de  $\text{HC}_c$  do que as demais marcas, com exceção da Ford nos testes em marcha lenta, onde não houve diferença significativa.
- Para os veículos fabricados entre 2009 a 2011 (Fase L5 do PROCONVE), a emissão de poluentes dos veículos da FIAT são significativamente menores do que os veículos da VW e FORD. Porém os veículos da FIAT com ano de fabricação entre 1997 e 2008 (Fases L3 e L4 do PROCONVE), não tiveram bom desempenho, apresentando maior emissão do que a VW e FORD, significativamente comprovada nos testes no combustível principal em marcha acelerada e no GNV em marcha lenta.
- Na emissão de  $\text{CO}_c$ , os resultados das marcas variaram consideravelmente de acordo com a data de fabricação dos veículos. Nas fases L1 e L2 (veículos com data de fabricação até 1996) a Fiat obteve melhores resultados (menores emissões) do que as demais marcas, diferente da fase L3 (fabricação entre 1997 e 2004), onde os veículos da GM emitiram menos  $\text{CO}_c$ . Já na fase L4 (fabricação entre 2005 e 2008) foi a Ford que obteve o melhor desempenho.
- Na fase L5 (veículos fabricados a partir de 2009), o destaque ficou com a Volkswagen, que apresentou pior desempenho do que as demais marcas, que se equivalem em termos de emissão de  $\text{CO}_c$ .
- Pode-se concluir também que os veículos da FORD tem melhor desempenho na emissão do poluente  $\text{CO}_c$  em

relação a VW nos testes usando combustível líquido, para os veículos fabricados a partir de 1997;

- g) A emissão de  $HC_c$  é maior para o combustível principal do que para o GNV somente para os veículos fabricados até 1996. Para os veículos mais novos (a partir de 2005) a emissão de  $HC_c$  é maior nos veículos a GNV. Para os veículos fabricados na fase L3, a emissão depende do regime de aceleração;
- h) Veículos utilizando combustível gasoso GNV emitem aproximadamente 50% menos  $CO_c$  que os veículos com combustível líquido, independente do regime de aceleração e data de fabricação;
- i) Veículos mais antigos, fabricados de 1988 até 2004, emitem mais  $HC_c$  em marcha lenta do que em marcha acelerada, quando utilizando combustível líquido. Para os veículos mais novos (a partir de 2009), ao contrário, há mais emissão de  $HC_c$  em marcha acelerada do que em marcha lenta;
- j) Veículos usando GNV emitem mais  $HC_c$  em marcha lenta do que em marcha acelerada, o que só não foi possível confirmar para os veículos fabricados a partir de 2009;
- k) Veículos no combustível principal emitem menos  $CO_c$  em marcha lenta do que em marcha acelerada, para os veículos fabricados entre 1997 e 2011. Não foi possível concluir para os veículos fabricados até 1996;
- l) Veículos utilizando o GNV emitem mais  $CO_c$  em marcha lenta do que em marcha acelerada, somente para os veículos fabricados entre 1992 e 2004. Para as demais faixas (Fases L1, L4 e L5 do PROCONVE) não foi possível concluir.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES

- a) A Resolução no 291/01 do CONAMA, que trata sobre o controle ambiental dos modelos de *kits* GNV por meio do CAGN emitido pelo IBAMA, trouxe um avanço em exigir conjuntos de instalação adequados para cada tipo de veículo e a garantia de emissões, após a instalação, iguais ou menores do que o veículo original. Uma nova Resolução do CONAMA poderia diminuir a atual fragilidade da fiscalização/aplicação do sistema GNV/CAGN na prática do dia a dia leva as seguintes reflexões:

- O certificado ambiental CAGN apenas relaciona o modelo de conjunto de componentes no sistema de adaptação do gás natural para cada tipo de motorização e para cada combustível utilizado, nominal ao fabricante ou importador. Não há nenhum tipo de lacre pelo menos nos componentes mais importantes do kit GNV homologados, o que facilita a adulteração destes componentes nas instaladoras, não se garantindo assim resultados em termos de redução de poluentes, somente a economia de combustível;
  - Exigir das ITL, nas auditorias anuais realizadas pelo INMETRO, com modificações dos Regulamentos Técnicos da Qualidade RTQ 33 e RTQ 37, que somente os veículos com kits GNV com CAGN sejam aprovados nas inspeções iniciais e periódicas anuais;
- b) Além da economia de combustível esperada na conversão do veículo para utilização de GNV, frequentemente há a expectativa de que o veículo polua menos, ou seja, emita menores quantidades dos poluentes principais aqui pesquisados e normatizados (HCc e COc), e sejam portanto veículos mais adequados ambientalmente, mais “limpos”, do que eram quando movidos exclusivamente a gasolina ou etanol. No entanto, para que se obtenha este resultado, é mister que seja garantida a qualidade dos kits GNV, disponíveis nas convertedoras registradas pelo INMETRO, o que implica que o kit seja instalado de maneira completa – com todos os seus componentes homologados (com respectivos CAGN atestados pelo IBAMA). Só assim, com novos critérios técnicos de instalação para este tipo de exigência expressada acima e uma fiscalização mais rigorosa por parte do IBAMA em conjunto com o INMETRO, haverá esta garantia de adequação do kit ao patamar tecnológico do veículo original, e consequentemente os níveis adequados de emissão de poluentes, conforme determina os controles da poluição veicular gradativos e reducionistas estabelecido pelo PROCONVE desde 1986;
- c) A legislação e a fiscalização para os veículos GNV já existem há mais de uma década, exigindo dos agentes envolvidos ações urgentes interligadas nas várias esferas. É necessária uma maior integração entre os principais órgãos

governamentais envolvidos – INMETRO, IBAMA, ANP, DENATRAN, DETRAN, entre outros órgãos atuantes no setor de trânsito e energia – juntamente com representantes das empresas envolvidas (ITL, instaladoras, etc.), para a definição de regras claras exequíveis e que garantam a qualidade e segurança do usuário;

- d) É necessário ainda que os dados sobre os veículos convertidos ao GNV anualmente sejam armazenados por ano-modelo e o tipo de combustível original líquido e estejam disponíveis ao público e órgãos de trânsito estaduais, o que hoje não existe. Além disso, é fundamental que a fiscalização seja acentuada e utilizada inicialmente como instrumento de educação;
- e) Outro aspecto importante a considerar para a segurança do sistema GNV é que mais de 30% dos veículos que transitam com GNV são considerados clandestinos, ou seja, trafegam nas áreas urbanas sem o selo do INMETRO e sem serem anualmente inspecionados nas ITL. Estes veículos vêm comprometendo a segurança de todos principalmente no seu abastecimento nos postos com GNV, acarretando riscos de explosão dos seus cilindros ocasionando em muitos casos óbitos das pessoas em volta. Importante ressaltar que isto ocorre porque não existe a exigência deste selo no momento do abastecimento dos veículos convertidos nos postos de combustível;
- f) No sentido viabilizar novas pesquisas sobre este tema é importante que o DENATRAN exija das UGC credenciadas que fiquem registrados eletronicamente em definitivo os dados relativos à emissão de poluentes das inspeções cujo resultado for a reprovação do veículo, mesmo que haja uma reinspeção com resultado de aprovação posteriormente, garantindo assim a consulta rápida e segura destes dados a qualquer momento, em caso de novas pesquisas;
- g) Por último, para manutenção efetiva dos ganhos conseguidos pelo PROCONVE, deve ser garantida a implantação dos Programas de I/M, já previsto na atual Resolução no 418/09 do CONAMA, que hoje somente dois Estados da Federação colocaram em prática. Hoje se sabe que os níveis de emissão dos automóveis dotados de modernos sistemas de controle de emissões sofrem uma deterioração mais acentuada ao longo do tempo do que os veículos mais antigos. Medidas feitas por sensoriamento remoto em vias urbanas indicam que mesmo

veículos de fabricação recente podem contribuir com cargas poluidoras elevadas;

Por fim, considerando as possibilidades de crescimento da oferta de gás: diante das reservas do pré-sal, campos de extração de gás não associado e, até mesmo, da possibilidade de extração de gás não convencional em território brasileiro, ou seja, aqueles cuja tecnologia ainda não está totalmente desenvolvida para sua exploração; faz-se necessário o reposicionamento urgente do GNV como combustível estratégico, a fim de que a população brasileira possa aprouver das vantagens econômicas, sociais e ambientais do uso do gás natural como combustível veicular.

Para trabalhos posteriores, recomenda-se:

- Um novo estudo da análise de gases e poluentes utilizando os dados disponíveis oriundos das inspeções veiculares, objetivando resgatar o combustível renovável etanol em testes comparativo de nível de poluição para veículos leves a gasolina e convertidos a GNV;
- Estudo da emissão dos aldeídos (CHO) com veículos a GNV, em especial os formaldeídos ( $\text{H}_2\text{CO}$ ) – conhecido como formol – tem sido encontrado em teores cada vez mais altos no ar que se respira no Rio de Janeiro. O formol tem ainda o agravante de ser um dos compostos que mais formam ozônio, substância que, embora benéfica na estratosfera, causa sérios danos na troposfera (o ar que respiramos), podendo prejudicar a córnea ocular, as vias respiratórias e plantações muito prejudicial a. A elevação se dá na mesma proporção em que aumenta a frota de veículos convertidos para gás natural na cidade. O alerta é do químico Sergio Machado Correa, coordenador da pesquisa Impacto das Emissões Veiculares na Qualidade do Ar da Cidade do Rio de Janeiro, contemplada pelo programa Primeiros Projetos, pois foi detectado em sua pesquisa em laboratórios químicos que ocorre grandes concentrações destes formaldeídos no centro do Rio de Janeiro, região de grande circulação de veículos convertidos a GNV, pois os veículos a GNV emitem, a princípio, mais formaldeídos que os veículos a gasolina, em função da oxidação do metano não queimado durante a combustão dos motores;
- Estudo da emissão do poluente metano ( $\text{CH}_4$ ) e suas relações qualitativas e quantitativas com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) para

resultados comparativos de ambos e suas respectivas influencias substanciais para a queda do índice de Aquecimento Global, haja vista que em teoria o GNV contém menos carbono por unidade de energia do que qualquer outro combustível fóssil, consequentemente, produz menos emissões de  $\text{CO}_2$  por quilômetro percorrido. Apesar dos veículos a GNV emitirem metano, um dos gases com efeito de estufa, qualquer aumento nas emissões de metano é largamente compensado pela redução substancial nas emissões de  $\text{CO}_2$ , relativamente a outros combustíveis.





## 6 REFERÊNCIAS

ABGN - Associação Brasileira do Gás Natural Veicular - **O uso do GN em veículos (GNV)**. Disponível em:<

[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/artigos\\_](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/artigos_). Acesso em: 27 de abril de 2013.

ABREU, A. A. **Avaliação do potencial de redução de emissão de poluentes atmosféricos através da implantação de programas de inspeção e manutenção de veículos**. 2003. 267 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ABREU, A. A. **Medidas de eficiência energética como instrumento de mitigação do aquecimento global no setor de transportes rodoviário brasileiro**. 2007. 203 p. Tese (Doutorado em ciências em engenharia de transportes) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

AIE - Agência Internacional de Energia. **Frota mundial de veículos**. Disponível em: <<http://carsale.uol.com.br/editorial/noticia/10186-frota-mundial-de-veiculos>>. Acesso em 5 de dezembro de 2012.

ALMEIDA, A.F.S. **A importância dos biocombustíveis na matriz energética de transporte rodoviário do Brasil**. 2006. 196 p. Dissertação (Mestrado em ciências em engenharia de transportes) - Universidade Federal do rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ANDRADE, A.L.C.; MATTEI L. **Consumo energético e emissões de CO<sub>2</sub>: uma análise do setor de transportes brasileiros**. Disponível em: <<http://anpec.org.br/encontro/2011/inscricao/arquivos/000-0689fab8>>. Acesso em 20 de abril de 2013.

ANFAVEA. **Anuário estatístico 1957-2002 da indústria automobilística brasileira**. São Paulo, 2003.

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico da indústria automobilística brasileira**. São Paulo, 2011.

ANP- Agência Nacional do Petróleo. **Resolução nº 12**: altera a portaria ANP nº 310 com teores de enxofre reduzidos, óleo diesel S500. Brasília, 2005.

ANP- Agência Nacional do Petróleo. **Resolução nº 65/2011**: regulamenta as especificações do óleo diesel de uso rodoviário em todo o território nacional com destaque ao uso do atual óleo diesel S50, desde janeiro de 2012, e a partir de 1º de janeiro de 2013, o óleo diesel S10.

AUTODATA. **Proconve 25 anos**. Disponível em: <<http://assineautodata.com.br/index.asp?Site>>. Acesso em: 26 de setembro de 2011.

AUTODIÁRIO. **Programa eco rotulagem de emissões**. Disponível em: <[www.autodiario.com.br/](http://www.autodiario.com.br/)>. Acesso em: 25 de janeiro de 2012.

AZUAGA, D. **Danos ambientais causados por veículos leves no Brasil**. 2000. 167 p., Dissertação, Mestrado em ciências em planejamento energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro.

BARABETA, A. B. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 8. ed. 2012. Florianópolis.

BRASIL. **Código de trânsito brasileiro – CTB** - Artigo 104. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br>>. Acesso em: 27 de maio de 2011.

BRAVIANO, G.; FIALHO, F.A.P.; SANTOS, N. **Métodos e técnicas em ergonomia**. Edição dos autores, 2005.

CEPRA - Centro de Formação Profissional da Reparação Automóvel - **Análise de gases de escape e opacidade**. 2000. Disponível em: <<http://www.cepra.pt/saida.php?s=9>>. Acesso em: 09 de dezembro de 2012.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Inventário de emissão veicular** - metodologia de cálculo. Mimeo, 1999.

\_\_\_\_\_. **Poluentes atmosféricos.** Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 09 de novembro de 2011.

\_\_\_\_\_. **Qualidade do ar.** Disponível em: <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 09 de junho de 2012.

COLOMER, M. **Retomada do mercado de GNV no Brasil.** Blog Infometro, 12/11/12. Disponível em: <<http://infopetro.wordpress.com/2012/11/12/retomada-do-mercado-de-gnv-no-brasil/>>. Acesso em: 8 de abril de 2013.

COMETRO - Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - **Resolução nº 01/87.** Dispõe sobre a revogação da resolução COMETRO nº 01/1987, que aprova o Programa Nacional de Certificação de Conformidade de Veículos Automotores – PRODEM.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente – **Resoluções.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 28 de março de 2010.

CONTRAN - Conselho Nacional de Trânsito – **Resolução nº 510/77.** Dispõe sobre a circulação e fiscalização de veículos automotores diesel.

DENATRAN. Departamento Nacional de Trânsito. **Sector de estatística.** Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em 23 de março de 2013.

DETRAN/SC - Departamento de Trânsito de Santa Catarina. **Frota de veículos em Santa Catarina.** Disponível em: <<http://www.detransc.gov.br/index.php/estatistica/veiculos>>. Acesso: 03 de março de 2013.

DUTRA, E.G. **Metodologia teórica** - experimental para determinação dos parâmetros básicos para elaboração de inventários de emissão de veículos leves do ciclo Otto. 2007. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética - MME. **Consolidação de bases de dados do sector de transporte:** 1970 - 2010. Rio de Janeiro, 2012.

FAVARETTO, J. E. **Inspeção técnica veicular – ITV – Impactos Sócio-econômicos**. Instituto Brasileiro Veicular, maio, 2001.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente. **Plano de poluição por veículos em Uso - PCPV**, RJ, 2000.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente. **Programa de inspeção e manutenção de veículos em uso do Rio de Janeiro**, RJ, 2005.

FERNANDES, C.S. **Análise estatística das emissões de CO e HC produzidas por gases de exaustão veicular oriundos de gasolina, GNV e mistura álcool/gasolina**. 2009. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

FERREIRA, A. L. L. **Quantificação e análise das emissões de gases da frota da Universidade Federal Rural do Semiárido, campus Mossoró**. 2010. 43 p. Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental. Mossoró.

FILHO, A.M.; NOVAES, A.B. 2001. **Inspeção veicular** – As experiências Argentinas e Chilenas.

GASNET. **Site do gás natural**. Disponível em:  
<<http://www.gasnet.com.br/html>>. Acesso em 18 de março de 2013.

\_\_\_\_\_. **Veículos convertidos ao GNV**. Disponível em:  
<<http://www.gasnet.com.br>>. Acesso em 24 de julho de 2012.

GOMES, S-M. D., SILVA, M.A. e FIGUEIREDO, M.A.G. **Estudo do impacto da utilização dos oxigenados na redução das emissões veiculares**. Trabalho da Disciplina Impactos Ambientais de Projetos Energéticos do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, RJ, 1994.

GUIMARÃES, J.B.S. **Análise estatística utilizando o SPSS**. Disponível em: <<http://www.programa.uff.br/estatística/apostila-SPSS.pdf>>. Acesso em 23 de junho de 2013.

HANSEN, M. **Proposição de um método para avaliação do adicional de emissões veiculares em partida a frio**. 2008. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HAUSKER, K. USAID. **Vehicle inspection and maintenance programs**: international experience and best practices. 103 p. p. 77-78, 2004.

HSW – HowStuffWorksBrasil. **Sobre o uso do GNV veicular**. Disponível em: <<http://uol.com.br/>>. Acesso em 23 de julho de 2011.

IANGV - International Association for Natural Gas Vehicles. **Natural gas statistics**. Disponível em: <<http://www.iangv.org/tools-resources/statistics.html>>. Acesso em: 07 de junho de 2011.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis. **Fases do PROCONVE**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 09 de outubro de 2012.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais e Renováveis. **Instrução Normativa nº06/10**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em 09 de junho de 2011.

\_\_\_\_\_. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relação das empresas e seus respectivos kits de GNV detentores do CAGN e autorizados pelo IBAMA/PROCONVE para instalação em veículos automotores**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/proconve/divs/tabela-cagn-16-02-2005.pdf>>. Acesso em: 12 de abril de 2013.

\_\_\_\_\_. **Instrução Normativa nº 06/10**. Disponível em: <[http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs\\_Legislacao/Instr6-InspV.pdf](http://www.cntdespoluir.org.br/Documents/PDFs_Legislacao/Instr6-InspV.pdf)>. Acesso em: 09 de maio de 2012.

IBP - Instituto Brasileiro do Petróleo, Gás e Bio-combustíveis. Veículos convertidos a GNV. Disponível em: <<http://www.ipt.gov.br>>. Acesso em 28 de março de 2013.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório anual da qualidade do ar do estado do Rio de Janeiro**. Autores: INEA, da Secretaria do Ambiente do Governo do Rio de Janeiro, ano 2009. Disponível em <<http://www.inea.rj.gov.br>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2013.

INFOPETRO. Grupo de Economia da Energia do Instituto de Economia da UFRJ. **Frota de veículos**. Disponível em: <<http://infopetro.wordpress.com/2010/04/19/frota-brasileira-de-veiculos-leves-difusao-dos-flexiveis-e-do-gnv/>>. Acesso em: 26 de março de 2013.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Certificação de componentes do kit GNV**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/organismos/index.asp/>>. Acesso em 27 de abril de 2013.

\_\_\_\_\_. **Portarias**. Disponível em:<[www.inmetro.gov.br/infotec/portarias.asp](http://www.inmetro.gov.br/infotec/portarias.asp)>. Acesso em 09 de setembro de 2012.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Listagem dos organismos de inspeção acreditados e instaladoras de GNV registradas**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/infotec/oficinas/listagem.asp>>. Acesso em: 03 de fevereiro de 2013.

\_\_\_\_\_. **Regulamento técnico da qualidade para GNV\_RTQ-33**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/RTAC000774.pdf>>. Acesso em: 11 de março de 2011.

IPT – Instituto de Tecnologia do Paraná. **Dossiê técnico – GNV, 2007**. Disponível em: <[http://www.ipt.br/publicacoes/artigos\\_tecnicos](http://www.ipt.br/publicacoes/artigos_tecnicos)>. Acesso em: 03 de agosto de 2012.

LEMONS, J. F. **Poluição veicular: avaliação dos impactos e benefícios ambientais com a renovação da frota veicular leve na cidade de São Paulo**. 2010. 133 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

LIMA. **Avaliação do PROCONVE** - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores. LIMA/COPPE/UFRJ, 2001.

LISBOA, H. M. **Controle da poluição atmosférica**. 2007. Apostila. Montreal, Canadá- UFSC, 2007.

LOCH, P. **GNV irregular** - Fiscalização será intensificada, seção Geral. Jornal Notisul. Disponível em:  
<[http://www.notisul.com.br/n/geral/fiscalizacao\\_sera\\_intensificada-37779](http://www.notisul.com.br/n/geral/fiscalizacao_sera_intensificada-37779)>. Acesso em 02 de maio de 2013.

LOUREIRO, L.N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas, estudo de caso**: avaliação do inventário emissões atmosféricas da região metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis. 2005. 151 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro.

MACLEAN, H.L., LAVE, L.B. **Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies**. Progress in Energy and Combustion Science 29, pp. 1-69, 2003.

MANAVELLA, H. J. P. **Sistema OBDI e OBDII**. Disponível em:  
<<http://www.hmautotron.eng.br/artigos/EGR-Valvulas-pro.pdf>>. Acesso em: 23 de abril de 2013.

\_\_\_\_\_. **Sobre GNV**. Disponível em:  
<<http://www.hmautotron.eng.br/artigos/Gases&EmissoesPM.pdf>>  
Acesso em: 12 de fevereiro de 2013.

\_\_\_\_\_. **Válvula de recirculação EGR**. Disponível em:  
<<http://www.hmautotron.eng.br/artigos/EGR-Valvulas-pro.pdf>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2012.

\_\_\_\_\_. **Válvula de Recirculação - EGR**. Disponível em:  
<<http://www.hmautotron.eng.br/artigos/EGR-Valvulas-pro.pdf>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2012.

MANUAL DE INSTRUÇÕES. **Programa IGOR**. Disponível em:  
<<http://www.tecnomotor.com.br/novo/index.php/manuais-de-produtos>>. Acesso em: 1º de julho de 2013.

MANUAL DO PROCONVE/IBAMA, 2011. **1º Inventário nacional de emissões de veículos automotores rodoviários**. Brasília, 2011.

MARQUES, P.E.; SALVADOR, E. **Legislação de trânsito e segurança veicular**. 3. ed. São José: Inpea, 2010.

MENDES, F. E. **Avaliação de programas de controle de poluição atmosférica por veículos leves no Brasil**. 2004. 179 P. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, Rio de Janeiro.

MMA – Ministério do Meio Ambiente – **Minuta da inspeção, anexo I**. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/ECF4F23B/AnexosInspecaoMinutaResolucao.pdf>>. Acesso em 15 de julho de 2013.

MMA, LIMA/COPPE/UFRJ, FEEMA. **avaliação do programa de inspeção e manutenção de veículos em uso do Rio de Janeiro**, 2002.

MME. **Balanço energético nacional 2005**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2009.

\_\_\_\_\_. **Balanço energético nacional 2009**. Ministério de Minas e Energia, DF. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 08 de maio de 2010.

NAPOLETANO. **Sobre GNV**. Disponível em:

<<http://oficinabrasil.com.br/index.php/escapamento/205-recirculacao-de-gases-de-escapamento-parte-1>>. 2013.

NETO, C.N. **Oficina Brasil/GNV**. Disponível em:

<<http://arquivo.oficinabrasil.com.br/noticias/?COD=1064>>. Acesso fevereiro 2013>. Acesso em: 24 de fevereiro de 2013.

NICOL, M. **O ar que o carioca respira**. FAPERJ. Disponível em

<[http://www.faperj.br/versao-impressao.phtml?obj\\_id=2329](http://www.faperj.br/versao-impressao.phtml?obj_id=2329)>. Acesso em 29 de maio de 2013.



OLIVETO, I.D. **Contribuições do processo de harmonização da regulamentação de gás natural veicular no Mercosul**. 2009.150p Dissertação (Mestrado em Sistema de Gestão pela Qualidade Total) - Universidade Fluminense, Niterói.

ONURSAL, B., GAUTAM. S.P. **Vehicular air pollution**: Experiences from Sevem Latin America. World Bank Technical Paper, nº 373, 1997.

PELLIZA, G. **Análise de veículos convertidos para o uso do combustível gás natural**. 2003. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PESSANHA, E. M. **Análise das potencialidades do uso do gás natural veicular na cidade de Goytacazes**. 2004. 71 p., Dissertação (Mestrado em Planejamento Regional e Urbano) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PIRES, A. **O GNV anda esquecido no Brasil**. Adriano Pires. Disponível em: <<http://www.imil.org.br/artigos/>>. Acesso em 27 de abril de 2013.

PROCONVE - **Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores** - Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 2ª ed. Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes, nº 2, Brasília, 2004.

RIBAS, J. R. e VIEIRA, P. R.C. **Análise Multivariada com o uso do SPSS**. Editora Ciência Moderna Ltda. Rio de Janeiro, 2011.

RIBEIRO, S. K. et al. **Transportes e mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Mauad, 2000.

RIBEIRO, S. K. **Barreiras da implantação de alternativas energéticas para o transporte rodoviário no Brasil**. Rio de Janeiro: Centro Clima/COPPE. 2002.

RIBEIRO, S.K. **Estudo das vantagens ambientais do gás natural veicular**. O caso do Rio de Janeiro, Centro Clima, 2001.

SCGÁS - **Companhia de gás de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://www.scgas.com.br/index.php/site/veicular/conteudos/simulador/idse/255>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2013.

SILVA, C. País tem um carro para cada 5 habitantes. **Jornal O Estadão**. 14 de abril de 2012. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/economia,pais-tem-1-carro-para-cada-5-habitantes,109273,0.htm>>. Acesso em 20 de abril de 2013.

SZWARC, A. **Veículos flexfuel**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/opiniao.>> Acesso em: 09 de outubro de 2011.

SZWARCFITER, L. **Opções para o aprimoramento do controle de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil**: uma avaliação do potencial de programas de inspeção e manutenção e de renovação acelerada da frota. 2004. 261 p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TECNOMOTOR, 2012. **Análise de gases e poluentes**. Disponível em: <[http://tecnomotor.com.br/produtos/tm\\_132.htm](http://tecnomotor.com.br/produtos/tm_132.htm)>. Acesso 13 de março de 2013.

VALIANTE, D. **Análise de viabilidade técnica, econômica, ambiental e mercadológica da instalação original de fábrica de sistema de conversão para uso do gás natural em veículos leves movidos a gasolina e/ou álcool**. 2006, 110 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

VICTORETTE, A. W.D. B.; PEREIRA M. e VANDRESEN, M. **Diagnóstico das emissões de gases nocivos provenientes de automóveis da frota nacional em circulação**. 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/publicacoes/article/view/9>>. Acesso em 25 de novembro de 2012.

VILLANUEVA, L. Z. D. **Uso de gás natural em veículos leves e mecanismo de desenvolvimento limpo no contexto brasileiro**. 2002. 163 p. Tese (Doutorado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

## ANEXO I: Relatório de Análise de Gases e Poluentes

**VEÍCULO**  
VOLKSWAGEN  
GLS, Ano: 1989  
Combustível: GNV + ÁLCOOL

TECNOMOTOR v:5.3

Placa: MCK8490

**Rodrigo Vandrésen Nunes**  
Técnico em automobilística  
CREA/SC 101745-6  
Inspetor Gava

**DADOS DA INSPEÇÃO**  
DATA 13/10/2011 10:59:35  
CÓDIGO DO INSPECTOR

### MEDIDAÇÃO DE GASES 1º ESCAPAMENTO

Combustível		Rotação	HcC	HC	CO	CO2	COc	F. Diluição
GNV	M.L. 800 ±100	821	403	345	0.45	9.80	0.52	1.17
GNV	2300 - 2700 RPM	2477	46	45	0.70	11.00	0.72	1.03
	Limites	700-900/2300-2700	0 - 700	---	---	---	0.00 - 4.00	0.00 - 2.50
ÁLCOOL	M.L. 800 ±100	958	112	104	1.40	12.50	1.51	1.08
ÁLCOOL	2300 - 2700 RPM	2594	113	113	5.35	11.50	5.35	0.89
	Limites	700-900/2300-2700	0 - 1100	---	---	---	0.00 - 4.00	0.00 - 2.50

### OBSERVAÇÕES SOBRE O TESTE.

Ensão conforme conama 418 e instrução normativa nº 6 do ibama

Combustível: GNV

Quilometragem: 224845

Teste iniciado às 10:51:57

1. Condições do teste - ESCAPAMENTO 1

a. Temperatura externa do bloco do motor = 95 °C

b. Temperatura do ar = 25 °C

c. Pressão atmosférica = 99 KPa

Teste finalizado às 10:53:47

Tempo do teste: 00:01:50

Combustível: ÁLCOOL

Quilometragem: 224845

Teste iniciado às 10:54:14

1. Condições do teste - ESCAPAMENTO 1

a. Temperatura externa do bloco do motor = 95 °C

b. Temperatura do ar = 25 °C

c. Pressão atmosférica = 99 KPa

Teste finalizado às 10:58:59

Tempo do teste: 00:04:45

DEV. Nº 08976852.37  
Q.S. Nº 11829  
DATA 13/10/11

**RESULTADO DO TESTE:**  
**REPROVADO**



## ANEXO II: GNV – INCONVENIENTES, CAUSAS E SOLUÇÕES

FALHA/DEFEITO	POSSÍVEL CAUSA	SOLUÇÃO
Chave comutadora não mantém a posição no gás (GNV)	Sinal fraco no fio antena enrolado no cabo de vela ou no negativo da bobina	Conectar o fio antena no terminal pulsante da bobina.
	Fusível queimado	Substituir o fusível e conferir as conexões da chave comutadora e o fio da bobina.
	Fio terra não aterrado	Fixar fio terra 0V (zero volts).
Mistura de combustíveis ao reverter a chave comutadora para gás (GNV)	Válvula solenóide defeituosa	Substituir a eletro-válvula.
	Emulador de bico(s) defeituoso	Substituir o emulador de bico(s).
Os Leds da caixa comutadora, Indicadoras de pressão do gás, se acendem com o cilindro vazio.	Fios do manômetro partidos ou desconectados	Refazer ligação.
	Manômetro com defeito	Substituir o manômetro.
	Chave comutadora defeituosa	Substituir a chave.
Motor rateia, marcha lenta irregular, pouca potência, não responde às exigências de aceleração.	Filtro de ar ou entrada do redutor com excesso de sujeira ou óleo	Substituir ou limpar filtro de ar e/ou de entrada do redutor.
	Se há alguma abertura entre o mistificador e o motor, o que empobrece a mistura.	Conferir as conexões, juntas e mangueiras, corrigindo-as.
	Falha ou falta no Sistema de Ignição	Conferir com Instrumental e Informação adequada. Ver bobina de ignição, cabos e velas. Esta falha é confundida com outras quando não se utiliza aparelho de diagnóstico.
	É muito improvável, mas pode ter desprendido a membrana de 3ª etapa do redutor, por causa de uma contra-exploração na admissão por falhas na ignição ou distribuição e válvulas.	Controlar a ausência ou perdas de gás na membrana de 3ª etapa, se for necessário, desmontar o redutor e SUBSTITUIR a Membrana de 3ª Etapa.
Veículo na gasolina ou álcool demora a dar partida e fica rateando na marcha lenta	Regulador de pressão de combustível líquido furado	Substituir o regulador de pressão.
	Bicos injetores sujos ou queimados	Limpar com ultra-som ou substituí-los.
O motor está afogado (veículos carburados).	Chave comutadora na posição gás (GNV) e o carburador cheio de combustível	Posicionar a chave na posição neutra e funcionar o motor até consumir o combustível do carburador. Retornar a chave comutadora para posição gás (GNV).
	Eletro-válvula de combustível original ou gás (GNV) não fecha	Verificar o acionamento da eletro-válvula de combustível e gás (GNV).
	Bola do carburador com defeito ou irregularidade no carburador	Fazer a revisão do carburador.
Ao Inverter a chave para a posição gás (GNV), não ocorre fluxo pelo redutor.	Falta ou insuficiência de tensão adequada no solenóide do redutor	Medir tensão e verificar ocorrência de no mínimo 12 volts.
	Solenóide do redutor defeituoso	Substituir a solenóide.
	Conjunto dos pistões do solenóide travados	Substituir a solenóide.
	Válvula do cilindro e/ou do abastecimento fechada(s) ou defeituosa(s)	Abrir válvulas e/ou substituí-las.
Consumo excessivo	Vazamento no sistema	Verificar e fixar as conexões.
	Filtro de ar sujo ou obstruído	Substituir o elemento filtrante.
	Regulador de Alta excessivamente aberto	Calibrar a Regulagem de Alta e controlar a emissão de gases.
	Avanço da Ignição incorreto	Corrigir o ponto de Ignição.
	Motor com baixa compressão	Proceder às retificações dos componentes do motor (cilindros, cabeçotes etc.).
Chave comutadora não comanda o acender dos leds.	Existência de fusível queimado na alimentação	Identificar e substituir o componente.
	Chicote da chave comutadora rompido	Proceder ao reparo no chicote ou substituí-lo.
O motor está afogado (veículos injetados)	Eletro-válvula do gás(GNV) não fecha	Substituir a eletro-válvula de gás (GNV).
	Falha no emulador de bico(s) injetor(es)	Substituir o emulador de bico(s) injetor(es).
	Regulador de pressão furado	Substituir regulador de pressão.
Congelamento da tubulação e/ou redutor de pressão. Marcha Lenta Irregular logo depois de rodar em grande velocidade ou distâncias prolongadas.	Temperatura baixa próximo ao redutor	Conectar mangueiras de circulação de água.
	Mistura estequiométrica inadequada	Regular a mistura ou, caso necessário, substituir o misturador (AR-GNV).
	Tubulação da entrada do redutor com restrições	Checar e remover obstruções.
	Falta de resistência de aquecimento no redutor	Instalar resistência elétrica no redutor.
	Circulação de Água Insuficiente no redutor, com alto consumo a temperatura baixa de forma excessiva	Revisar mangueiras e circuito procurando por possíveis obstruções e corrigir.
Vazamento ou Cheiro de Gás dentro do Veículo	Catalisador obstruído ou Mistura muito rica	Substituir o componente.
	Vazamento na Válvula do Cilindro	Trocar a válvula ou repará-la e/ou conexão.
	Vazamento na Válvula de Abastecimento	Trocar a válvula ou repará-la e/ou conexão.
	Vazamento no Redutor de Pressão	Trocar o redutor ou repará-lo e/ou conexões.
Falta de potência em alta rotação ou com o veículo em movimento	Proporção Inadequada da mistura de ar/combustível	Regular a proporção da mistura. Substituir misturador e/ou redutor.
	Bico Injetor do gás (GNV) invertido (posição do chanfro)	Posicionar corretamente.



FALHA/DEFEITO	POSSÍVEL CAUSA	SOLUÇÃO
Perda de potência	Filtro de Ar ou Filtro do Redutor sujo(s) ou obstruído	Substituir o elemento filtrante.
	Falha de Ignição	Verificar os elementos componentes do sistema de Ignição (bobina, distribuidor, rotor, cabo das velas, velas). Substituir os necessários.
	Folga das válvulas de admissão e escape desreguladas	Regular as válvulas.
	Baixa compressão do motor	Proceder às retificações dos componentes do motor (cilindros, cabeçote etc.).
	Catalisador obstruído	Substituir o componente.
	Avanço da Ignição Incorreto, ATRASADO	Corrigir o ponto de Ignição.
	Defeito ou Falta Variador de Avanço	Instalar ou Trocar o componente.
	Regulador de alta desregulado	Calibrar a Regulagem de Alta e controlar a emissão de gases.
	É muito improvável, mas pode ter desprendido a membrana de 3ª etapa do redutor, por causa de uma contra-explosão na admissão por falhas na Ignição ou distribuição e válvulas.	Controlar a ausência ou perdas de gás na membrana de 3ª etapa, se for necessário, desmontar o redutor e SUBSTITUIR a Membrana de 3ª Etapa.
Lâmpada de indicação de anomalias se acende no painel	Obstrução na entrada do redutor com excesso de sujeira ou óleo no interior	Desmontar o Redutor, Limpar todos os elementos, substituir o Filtro da Entrada do Redutor e demais peças que apresentarem desgaste ou deformação. Depois de montado fazer um teste de funcionamento com óleo menos 50bar.
	Defeito pré-gravado na memória ECU do veículo	Scanear ECU do veículo, identificar o defeito e resetá-lo.
	Emulador para o(s) bico(s) ausente ou incorreto	Instalar o emulador de bico(s) injetor(es) correspondente.
Veículo não procede a partida com gás (GNV) pela manhã ou depois de parado por muito tempo	Ausência de emulador para sonda lambda	Instalar o emulador de sonda Lambda correspondente.
	Motor com câmara de combustão fria	Ligar o motor com o combustível original, esperar que o mesmo atinja a temperatura ideal de trabalho para reverter para gás(GNV).
Veículo não procede a partida no gás (GNV) ou no combustível original (gasolina ou álcool)	Falta de corrente nas velas	Verificar a carga da bateria, conexões dos cabos de vela, bobina e distribuidor.
	Falha no sensor de rotação	Substituir o componente.
	Válvulas de admissão e/ou escape presas	Proceder à regulagem das válvulas.
Veículo não procede à partida no gás (GNV)	Falta de combustível	Verificar a pressão do sistema e, se necessário, abastecer o cilindro.
	Válvula de cilindro ou abastecimento fechada(s)	Posicionar corretamente as válvulas de abastecimento e do cilindro.
	Falta de sinal do fio da antena	Verificar a conexão da antena.
	Filtro de ar ou do redutor com sujeira excessiva	Limpar e/ou Substituir o(s) Filtro(s).
	Regulagem da marcha lenta do redutor fechada	Verificar o parafuso de regulagem de marcha lenta do redutor.
	Redutor não abre a por fusível aberto	Trocar o fusível e identificar o motivo da falha, ligação ao terra, Bobina(s) em curto-circuito,...
	Redutor não abre por bobina aberta	Medir Bobina e substituir caso necessário.
Ocorrência de estouro próximo ao filtro de ar	Avanço de Ignição Inadequado	Aplicar variador de avanço e ajustar o ponto de Ignição.
	Mistura pobre (AR-GNV) no sistema	Ajustar redutor ou substituir o misturador (AR-GNV).
	Folga excessiva dos eletrodos das velas	Ajustar folga padrão das velas.
	Falha de Ignição provocando fuga de centelha	Verificar e substituir se necessário, componentes do sistema de Ignição (bobina, distribuidor, rotor, cabo das velas, velas).
Marcha lenta do motor não estabiliza funcionando no gás (GNV).	Entrada falsa de ar depois do misturador. (AR-GNV)	Verificar as juntas dos componentes do coletor de admissão de ar do motor após o misturador. Proceder ao reparo.
	Filtro de Ar ou Filtro do Redutor sujo(s) ou obstruído	Substituir o elemento filtrante.
	Misturador ou Injetor Instalado em posição invertida	Retirar e verificar a instalação do misturador e Injetor. Proceder ao reparo.
	Presença de água ou óleo dentro do 3ª etapa do redutor	Abrir o redutor, proceder à manutenção e montagem.
	Regulagem de Marcha Lenta descalibrada	Calibrar a regulagem de lenta.
	Válvulas de admissão e/ou escape presas	Regular válvulas de admissão e escape.
Veículo morre ou tem marcha lenta irregular nas desacelerações bruscas ou ainda não desenvolve de imediato nas acelerações	Posição de Instalação de redutor incorreta	Vide manual da oficina para o correto posicionamento do redutor.
	Tomada frontal de ar do veículo	Usar defletor ou desviar a tomada de ar.
Veículo tem marcha lenta irregular, mas desenvolve satisfatoriamente em rotações mais altas	Motor de passo avariado	Substituir o componente.
	Regulador de pressão de combustível furado	Substituir o componente.
	Diafragma do redutor furado	Trocar o redutor ou repará-lo.